



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ENVIRONMENTÁLNÍ A EKONOMICKÉ ASPEKTY PŘI
VYTÁPĚNÍ**

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS BY HOUSE HEATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Ondruch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Jiří Ondruch**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Environmentální a ekonomické aspekty při vytápění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V posledních letech se výrazně změnila legislativa v oblasti emisní zátěže ze zdrojů vytápění rodinných domů a zároveň se zvýšila celospolečenská poptávka po úsporných a ekologických zdrojích. Jedná se o vysoce aktuální tematiku spojenou s aspekty globálního oteplování. Na trhu je dnes dostupná široká škála technologií pro vytápění, které mají své přednosti pro různé typy uživatelů.

Cíle bakalářské práce:

Provedte rešerši základních způsobů vytápění RD.
Zpracujte základní porovnání jednotlivých způsobů vytápění.
Provedte základní technicko-ekonomické porovnání vybraných metod na modelovém domě.

Seznam doporučené literatury:

BAŠTA, Jiří. Regulace vytápění. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02582-9.
BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-025365.
DOUBRAVA, Jiří. Regulace ve vytápění. 2., upr. Vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2007.
Sešit projektanta – pracovní podklady. ISBN 978-80-02-01951-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

.....
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá veškerými možnými metodami vytápění, které můžeme při vytápění rodinného domu využít. V práci je kladen důraz především na metody nové, progresivnější a šetrné k životnímu prostředí. V poslední části jsou vybrané možnosti demonstrovány na modelovém domě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vytápění, emise, kotel, tuhá paliva, plyn, elektrická energie, tepelné čerpadlo, obnovitelné zdroje

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with all possible methods of heating, which can be used for heating family house. The thesis emphasizes mostly on methods new, progressive and environmentally friendly. In the last part of this thesis, the chosen methods are demonstrated on model house.

KEY WORDS

Heating, emissions, boiler, solid fuels, gas, electrical energy, heat pump, renewable sources

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRUCH, Jiří. *Environmentální a ekonomické aspekty při vytápění*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124540>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Environmentální a ekonomické aspekty při vytápění** vypracoval samostatně s použitím literatury a zdrojů, které jsou uvedené v seznamu.

.....

Datum

.....

Jiří Ondruch

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, a taky mé rodině, která mě při celém průběhu studia podporovala.

Obsah

| | |
|--|----|
| 1 Úvod | 11 |
| 2 Vnější parametry ovlivňující volbu vytápění | 12 |
| 2.1 Klimatické podmínky | 12 |
| 2.2 Topná sezona..... | 12 |
| 2.3 Emise a požadavky pro ekologičtější vytápění | 12 |
| 3 Možnosti a metody vytápění | 13 |
| 3.1 Vytápění tuhými palivy | 13 |
| 3.1.1 Kotle pro tuhá paliva | 13 |
| 3.1.2 Uhlí..... | 16 |
| 3.1.3 Koks | 16 |
| 3.1.4 Kusové dřevo | 17 |
| 3.1.5 Dřevní pelety | 17 |
| 3.1.6 Agropelety | 17 |
| 3.1.7 Dřevěné brikety | 18 |
| 3.1.8 Dřevní štěpka | 18 |
| 3.1.9 Ostatní biomasy | 18 |
| 3.2 Vytápění plynem..... | 18 |
| 3.2.1 Zemní plyn | 19 |
| 3.2.2 Zkapalněné plyny..... | 19 |
| 3.2.3 Kotle na vytápění plynem..... | 20 |
| 3.3 Vytápění elektřinou..... | 21 |
| 3.3.1 Přímotopné systémy | 22 |
| 3.3.2 Akumulační elektrické systémy | 24 |
| 3.3.3 Elektrokotel | 24 |
| 3.4 Tepelná čerpadla..... | 25 |
| 3.4.1 Princip kompresorového tepelného čerpadla | 25 |
| 3.4.2 Topný faktor | 26 |
| 3.4.3 Sezónní topný faktor | 26 |
| 3.4.4 Tepelné čerpadlo země-voda..... | 27 |
| 3.4.5 Tepelné čerpadlo voda-voda..... | 28 |
| 3.4.6 Tepelné čerpadlo vzduch-voda | 28 |
| 3.4.7 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 3.4.8 Absorpční tepelné čerpadlo | 30 |
| 3.5 Vytápění pomocí solární energie | 30 |
| 3.5.1 Ideální podmínky pro absorpci solární energie | 31 |
| 3.5.2 Vytápění s použitím kapalinových solárních panelů | 32 |
| 3.5.4 Vytápění pomocí fotovoltaiky | 33 |
| 3.6 Kombinované vytápění | 33 |
| 3.6.1 Akumulace | 33 |
| 3.6.2 Kombinace otopného systému | 33 |
| 3.6.3 Kombinace tepelných zdrojů | 33 |
| 4 Shrnutí použitelných metod vytápění | 34 |
| 5 Modelový dům | 36 |
| 5.1 Popis domu | 36 |
| 5.2 Aktuální způsob vytápění | 36 |
| 5.2.1 Naměřená data za provozu čerpadla | 37 |
| 5.2.2 Teoretický výpočet spotřeby a nákladů na vytápění | 37 |
| 5.2.3 Porovnání naměřených dat s teoretickým výpočtem | 39 |
| 5.3 Alternativy vytápění pro modelový dům | 39 |
| 5.3.1 Možnost vytápění plynem | 40 |
| 5.3.2 Možnost vytápění kusovým dřevem | 42 |
| 5.4. Srovnání alternativních možností s aktuálním vytápěním | 44 |
| 6 Závěr | 45 |
| Seznam použitých zdrojů | 47 |
| Seznam použitých symbolů a zkratek | 52 |
| Seznam obrázků | 54 |
| Seznam tabulek | 55 |

1 Úvod

Vytápění rodinného domu bude vždy aktuální otázkou, neboť technologie jsou stále progresivnější a vytváříme stále ekologičtější a praktičtější formy topení, které se v současnosti snaží hlavně o snižování emisí a využívání obnovitelných zdrojů energie.

V současnosti je několik možných druhů vytápění a je velice důležité vybrat pro daný rodinný dům to správně řešení. Především vyžadujeme největší možnou účinnost a nejmenší možné ztráty, komfort a také především náklady na vytápění. Pro každý individuální dům musíme brát do úvahy jeho konstrukci, rozměry a dostupné zdroje pro vytápění. S vytápěním je úzce spojený i ohřev užitkové vody a pokud ho některé vytápěcí metody neumožňují, musíme hledat alternativní řešení. Po zhodnocení veškerých požadavků a skutečností jsme schopni najít vhodná řešení pro vytápění rodinného domu.

V mé bakalářské práci obeznámím s aktuální situací ohledně vytápění v ČR. Chtěl bych seznámit s možnými druhy vytápění, uvést princip jejich fungování, vyzdvihnout jejich vhodnost a nastínit finanční hledisko provozu a investic. V poslední části své práce se budu věnovat modelovému domu. Modelový dům popíšu, seznámím s aktuální vytápěcí variantou a budu se jej snažit s nějakou alternativní variantou porovnat. Na závěr bych chtěl shrnout mou práci, vyzdvihnout to nejpodstatnější. Hlavním cílem tak je obeznámit sám sebe, ale také čtenáře, aby se s danou problematikou seznámil a třeba mu pomohla, pokud se dostane do situace, kdy bude uvažovat nad změnou druhu vytápění.

2 Vnější parametry ovlivňující volbu vytápění

2.1 Klimatické podmínky

Česká republika se nachází v mírném kontinentálním pásmu ve středních zeměpisných šířkách. Tahle oblast se charakterizuje zejména teplejšími léty a mírnějšími zimami. Zajímá nás ale hlavně část roku, kdy teplota venku klesá pod určitou teplotu a my musíme v našich rodinných domech topit. Zpravidla se tak děje v průběhu zří, a naopak v květnu až červnu už je teplota vysoká, že topit přestáváme. S tímhle období je tak úzce spjatá topná sezona [1].

2.2 Topná sezona

Topná sezona začíná 1. zří a končí 31. května následujícího roku. V tomhle období, dle vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu č.194/2007Sb. a dále splňujícím kritériem ohledně průměrně teploty, která musí poklesnout pod 13 °C ve 2 dnech po sobě následujících, musí bytové a nebytové prostory zajišťovat tepelnou stabilitu místnosti. Avšak vytápění rodinného domu je čistě subjektivní záležitost a předpoklad pro vytápění se tedy pohybuje v daném datu pouze orientačně podle aktuálního počasí a požadavků uživatele [2].

2.3 Emise a požadavky pro ekologičtější vytápění

S vytápěním je spojen hlavně vznik emisí (látek znečišťujících ovzduší), který se k šetrnosti k životnímu prostředí snažíme omezit. V minulosti převládalo hlavně topení tuhými palivy, která se nespalovala příliš ekologicky, a tak se průběžně přechází na alternativní metody vytápění, nebo dochází k výměně kotlů, které jsou ekologičtější a splňují aktuální vyhlášky [3].

Tabulka 2.3 Přehled povinností souvisejících s prodejem a provozem kotlů na tuhá paliva [4]

| Platnost od | Popis nařízení |
|-------------|---|
| 1.1.2014 | Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 3., 4. a 5. emisní třídy) |
| 1.1.2017 | Povinnost na vyžádání předložit revizi kotle (včetně označení emisní třídy) |
| 1.1.2018 | Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 4. a 5. emisní třídy) |
| 1.1.2020 | Zákaz prodeje kotlů 4. a 5. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle splňující požadavky EKODESIGN) – pro celou EU |
| 1.9.2022 | Zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy (bez ohledu na to, kdy byly pořízeny) |

Pokud je v EKODESIGNu předepsaný limit, tak s platností od 1.1.2020 můžeme tedy legálně zakoupit pouze kotle s označením EKODESIGN, avšak kotle třídy 3., 4., 5. třídy se stále mohou využívat. Zjednodušeně můžeme říct, že požadavky dle EKODESIGN jsou rozšířené požadavky na 5. emisní třídu, avšak každá ze směrnic využívá jiný způsob výpočtu. Je však otázkou času, kdy se zpřísní kritéria a je možné, že také nebudou být moci využívány. Nahrazení kotlů 1. a 2. emisní třídy ve všech domácnostech v roce 2022 by mělo mít výrazný pokles na produkci škodlivin v prostředí, a to až o 60-70 %. Ministerstvo životního prostředí v souvislosti s obměnou kotlů přispívá kotlíkovými dotacemi, které mohou lidem finančně pomoci [5].

3 Možnosti a metody vytápění

3.1 Vytápění tuhými palivy

Tuhá paliva jsou nejstarším a pořád velmi hojně využívaným prostředkem na vytápění rodinného domu. Spalování tuhých paliv probíhá v kotlích, přičemž je důležité, aby byl určený pro daný typ paliva a měl by být správně udržovaný a využíván. Tuhá paliva můžeme kategorizovat do dvou skupin: fosilní tuhá paliva (černé uhlí, hnědé uhlí a koks) a dřevní a nedřevní biomasu (kusové dřevo, pelety, brikety a štěpka).



Obrázek 3.1 Tuhá paliva [6]

3.1.1 Kotle pro tuhá paliva

Základem pro topení tuhými palivy je správný výběr kotle. Kotel musí být především zkonstruován pro daný typ paliva. Dále musíme brát ohledy na emisní vyhlášky a pořídit si kotel, který je splňuje. V poslední řadě nás zajímá výkon kotle, účinnost, komfort obsluhy a určitě také jeho cena.

Prohořivací kotel

Jedná se o nejjednodušší a nejstarší konstruovaný kotel, který tak i odpovídá svou nízkou účinností pohybující se kolem 50-60 % a se svými vysokými emisními hodnotami, už nyní téměř všechny nesplňují emisní vyhlášku [7].

Palivo se přikládá na základní hořící vrstvu. Dole se nachází rošt, pod kterým je přiváděn spalovací vzduch, který pak s ostatními spaliny prochází palivem. Spalovací proces je také výrazně ovlivňován komínovým tahem. U prohořivacího kotle je nutné velmi často přikládat, takže ani co se týče komfortu obsluhy není moc přívětivý. Příznivá může být akorát cena a takový kotel pořídíme do 30 000 Kč [7].



Obrázek 3.1.1 (1) Prohořivací kotel [7]

Odhořivací kotel

O něco pokročilejší je kotel odhořivací. Jeho účinnost je kolem 55–75 %, ale stále má vyšší emisní hodnoty, proto musí být kotel doplněný o nucený přívod vzduchu a základní primitivní regulaci [7].

Palivo se postupně sesypává na rošt, kde dochází k spalování. Následně prchavá hořlavina odchází do spalovací komory, což napomáhá lepšímu vyhoření. Spalovací proces je opět výrazně ovlivňován komínovým tahem. Také u odhořivacího kotle je nutno častěji přikládat. Cenově vychází o něco dražší než kotel prohořivací [7].

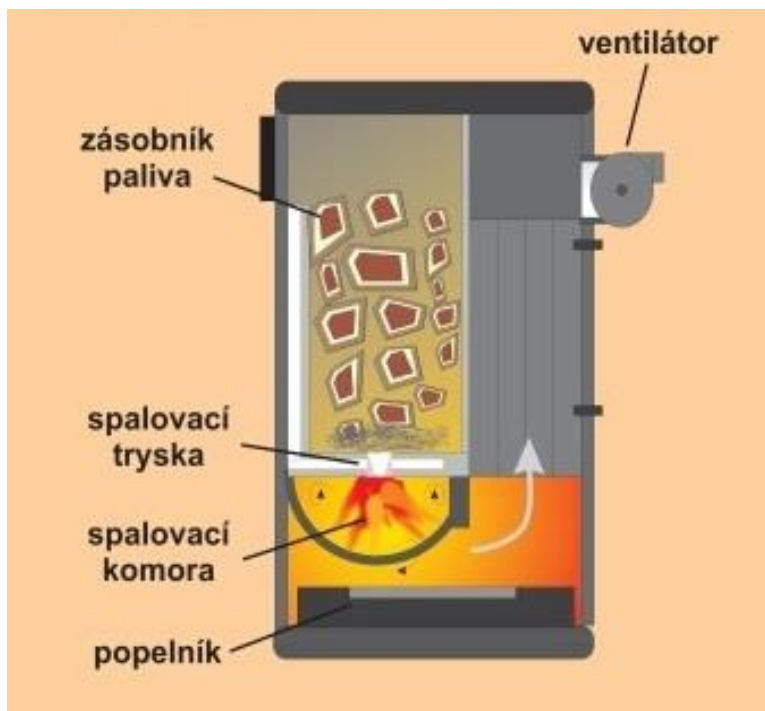


Obrázek 3.1.1 (2) Odhořivací kotel [7]

Zplyňovací kotel

Zplyňovací kotel už patří mezi jedny z nejmodernějších kotlů vůbec. Účinnost se pohybuje kolem 60-85 % a patří mezi emisně příznivější, které vyhovují dnešním nárokům. Tento kotel se však většinou používá pouze pro spalování dřeva [7].

Z paliva v zásobníku dochází k uvolnění prchavé hořlaviny, která následně odchází přes spalovací trysku do spalovací komory. Spalovací vzduch je většinou přiváděn přímo do trysky i do zásobníku paliva, což redukuje vliv komínového tahu.



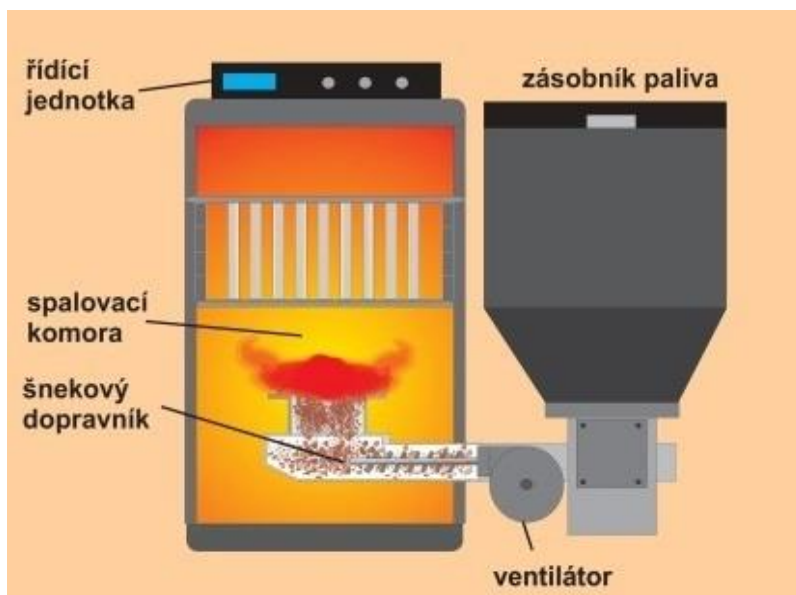
Obrázek 3.1.1 (3) Prohořivací kotel [7]

Frekvence přikládání závisí na velikosti zásobníku paliva, ale převážně je obdobná jako u odhořivacího kotle. Cena zplyňovacího kotle se může vyšplhat až k 80 000 Kč [7].

Automatický kotel

Při správném používání můžeme říct, že se jedná o nejkomfortnější a nejekologičtější kotel na tuhá paliva. Účinnost dosahuje až 90 % a má velice nízké emisní hodnoty. Kotel je převážně využíván na spalování pelet a hnědého uhlí [7].

Zásobník paliva automat. kotle je umístěn vedle tělesa kotle a palivo se následně pomocí dopravníku dostává do kotle.



Obrázek 3.1.1 (4) Automatický kotel [7]

Standardní zásobníky mívají objem takový, že jsou schopny samovolného procesu až 24-120 hodin. I takhle vysoká perioda se dá prodloužit, pokud ještě zavedeme

externí zásobník. Běžně se cena pohybuje obdobně jako kotel zplyňovací, avšak záleží na míře automatizaci, velikosti zásobníku a výkonu kotle. Cena kotle se tak může pohybovat v cenové relaci 60 000-120 000 Kč [7].

3.1.2 Uhlí

Uhlí bylo vždy jedním z nejpoužívanějších paliv díky své cenové dostupnosti a vysoké výhřevnosti. Vzhledem k tomu, že uhlí patří mezi neobnovitelné zdroje a jeho spalování, s porovnáním s ostatními druhy paliv, je nejméně ekologické, tak se od něj pomalu opouští a využívá se dnes převážně v tepelných elektrárnách. Zase je však pravdou, že při spalování v nejmodernějších spalovacích kotlích jsou výsledky srovnatelné, jako při topení biomasou. Rozdíl je pouze v emisích SO₂ a v porovnání produkce skleníkových plynů (neutralita CO₂ u biomasy) [8].

Uhlí vznikalo zejména v prvohorách a druhohorách ze dřeva uloženého v anaerobních vodních prostředích, kde při nedostatku kyslíku nedocházelo k úplnému rozkladu, a tak se dřevo za působení tlaku a tepla postupem času změnilo v uhlí. Kvalita uhlí závisí na době trvání procesu zuhelňování. Z nejstaršího období karbonu je nejdokonalejší materiál grafit, který má téměř 100 % uhlíku. Dále podle obsahu uhlíku můžeme uhlí rozdělit na antracit, černé uhlí, hnědé uhlí a lignit [9].

Tabulka 3.1.2 Obsah uhlíku a výhřevnost jednotlivých typů uhlí [10]

| Typ | Podíl uhlíku | Výhřevnost |
|------------|--------------|----------------|
| Lignit | 30–50 % | Okolo 13 MJ/kg |
| Hnědé uhlí | 50-80 % | 15-20 MJ/kg |
| Černé uhlí | 80-90 % | 18-30 MJ/kg |
| Antracit | Nad 90 % | 26-30 MJ/kg |

Tabulka 3.1.2 nám říká, že největší výhřevnost se pohybuje až kolem 30 MJ/kg u černého uhlí a antracitu, většina lidí však preferuje uhlí hnědé, které aktuálně vychází levněji. Na vytápění uhlím můžeme použít veškeré uvedené kotle, každopádně nejekologičtější a nejkomfortnější variantou jsou právě kotle zplyňovací a automatické.

3.1.3 Koks

Koks je produktem černého uhlí, vzniká při pyrolýze za teploty nad 1000°C. Koks je využíván převážně pro výrobu surového železa a při výrobě litin. Využití je však možné i pro vytápění rodinného domu. Výhřevnost koksu je velmi vysoká kolem 25-30 MJ/kg a předčí tak i hnědé a některé černé uhlí. Potřebujeme tak i méně uskladněného koksu. Je taky mnohem ekologičtější, protože při pyrolýze, bývají odstraněny prchavé látky. Nevýhodou je hlavně cena, která je znatelně vyšší než při vytápění uhlím [11].

3.1.4 Kusové dřevo

Další ze starších a stále často využívaných zdrojů je kusové dřevo. Topení dřevem sahá až do dálné minulosti, kdy se především topilo v kamnech, v bližší minulosti pak v kotlech, které byly schopné topit i jiná tuhá paliva. Takové spalování je však velmi nepříznivé pro ovzduší, proto dnes, obdobně jako u uhlí, je nutné mít kotel určený pro spalování dřevem a musí splňovat emisní vyhlášku. Díky moderním kotlům je pak topení dřevem snadnější a pohodlnější, ale stále se musí brát v potaz fyzické práce nutné se dřevem a taky jeho skladování. Aby bylo dřevo dostatečně vysušené, je potřeba ho nechat alespoň 2 roky uskladněné. Výhřevnost dřeva se pohybuje kolem 15 MJ/kg při ideální vlhkosti. Ideální vlhkost je kolem 20 % a se zvyšující se vlhkostí výhřevnost a ekologičnost klesá. Při vlhkosti 50 % klesá výhřevnost o celou polovinu a vytápění dřevem se pak stává velice neefektivní. Každý druh stromu má trochu odlišnou strukturu, tudíž i vlastnosti. Dnes už se však dá zpracovat většina stromů a díváme se převážně na jejich výhřevnost, přičemž platí, že jehličnany mají o 1-2 MJ/kg větší výhřevnost než listnaté stromy [12].

Dřevo spalujeme převážně v kotlích zplyňovacích a automatických. Důležitá u spalování dřeva je velikost zásobníku, neboť dřevo se spotřebovává rychleji a chceme zařídit delší interval mezi přikládáním [13].

3.1.5 Dřevní pelety

Při zpracovávání dřeva vzniká odpad (piliny, hobliny), který je následně zlisován a dostáváme tak produkt zvaný pelety. Jsou to slisované malé válečky o průměru 4-8 mm a délky 20-30 mm. Díky své velikosti je s nimi jednoduchá manipulace a skladnost. Jsou velmi ohleduplné na životní prostředí, protože neobsahují žádná chemická pojiva a znečišťující látky. Velmi příznivá je taky jejich výhřevnost, která se pohybuje kolem 18 MJ/kg, což se dá srovnat i s některými druhy uhlí. Výhodou ekologičnosti pelet je jejich popel, který je možný použít jako hnojivo [14].

Pelety spalujeme v kamnech/ kotlích přizpůsobené na pelety. Většinou se jedná o plně automatizované kotle, u kterých jsme schopni dosáhnout maximálního komfortu. Pro vytápění běžného rodinného domu stačí kotel s výkonem 15-25 kW, jejich účinnost se pohybuje na vysoké hranici 90 % [15].

3.1.6 Agropelety

Agropelety získáváme hlavně z rostlinné biomasy a jejich složení může být různé. Skládají se převážně z lisované slámy, sena, pšenice a dalších rostlinných přídatků z čištění. Výhřevností se pohybují kolem 14 až 17 MJ/kg a mohou tak konkurovat ostatním tuhým palivům [16].

Kámen úrazu je však dopad na jejich životní prostředí, protože se ve spalinách nachází větší množství oxidu dusíku a pevných částic. Při spalování v běžném kotli na tuhá paliva (samozřejmě 5. emisní třídy), či určeném na dřevní pelety, pak dochází k výraznému úniku emisí do prostředí a příznivé účinky to nemá také na kotel. Proto je při vytápění agropeletami nutný vhodně přizpůsobený kotel. Každopádně i při vybraných prototypch kotlů, se to nejeví jako přínosné a šetrné k životnímu prostředí [17].

3.1.7 Dřevěné brikety

Vlastnostmi velmi podobné peletám jsou brikety. Vznikají zlisováním dřevěných zbytků do většinou válečkovitého nebo tvaru. Jejich průměr je kolem 40-100 mm a dosahují délky do 30 mm. Válce mohou být plné nebo s otvorem uprostřed. Jsou vzhledem ke kusovému dřevu mnohem skladnější. Výhřevnost je opět vysoká pohybující se kolem 18 MJ/kg a popel rovněž můžeme využít jako zahradní hnojivo [18].

Brikety se používají převážně jako doplňkový zdroj vytápění v krbu nebo kamnech, například při vytápění plynem nebo elektřinou. Pro vytápění pouze briketami se používají kotle převážně zplynovací nebo i automatické. Často jsou to kotle podporující i spalování kusového dřeva, případně mají podobnou konstrukci. Musíme dbát hlavně na optimální přívod vzduchu, neboť při vysokém nebo nízkém přívodu vzduchu dochází k neúplnému využití tepla a vznikají nadbytečné emise [18].

3.1.8 Dřevní štěpka

Dřevní štěpka se získává z odpadů těžby dřeva, nebo z účelného nadrcení dřevní hmoty. Po těžbě a následném zpracování má štěpka stále vysokou vlhkost, a tak se musí nechat vysušit. S vysokou vlhkostí štěpka dosahuje hodnot pouze kolem 8-12 MJ/kg, proto musí být řádně vysušena, aby byla její výhřevnost srovnatelná s ostatními tuhými palivy. Štěpka kvůli své nízké objemové hmotnosti není moc skladovatelná, potřebujeme tak prostornější místo na úschovu. Dle materiálu, z jakého byla štěpka vyrobena, ji dělíme na zelenou, hnědou a bílou. Zelená štěpka vzniká hlavně z lesní těžby, mohou se v ní nacházet drobné větve a jehličí. Hnědá štěpka je získávána ze zbytkových částí kmenů, kde se vyskytuje i kůra, protože dříví ještě nebylo odkorněno. Bílá štěpka se získává z odkorněného dříví, hlavně z pilařských odřezků [19].

Pro vytápění štěpkou využijeme většinou kotle, které podporují i pelety. Vytápění pouze dřevní štěpkou není moc praktické kvůli nutnosti velkého prostoru pro skladování, který může být větší, než kdybych vytápěli kusovým dřevem.

3.1.9 Ostatní biomasy

Mezi ostatní nezmíněné biomasy patří veškerá organická hmota rostlinného a živočišného původu. Pro energetický užitek jsme schopni využít veškerý odpad po těžbě, zemědělské zbytky a exkrementy hospodářských zvířat. Na zpracování těchto biomas jsou přizpůsobené bioplynové stanice. Které pak jsou schopny vyrábět elektrickou energii dodávanou do rodinných domů [20].

3.2 Vytápění plynem

Stále ve velké míře využívaná je varianta vytápění plynem. Výhody spočívají hlavně v ekologičnosti, komfortu obsluhy a vysoké účinnosti. Při spalování nevznikají žádné prachové částice ani saze, pouze především oxidy dusíku a uhlíku. Ty jsou ve srovnání s tuhými palivy třetinové, až poloviční. Pro vytápění plynem nepotřebujeme žádné skladovací prostory, je nutné pouze zavést plynovou přípojku a

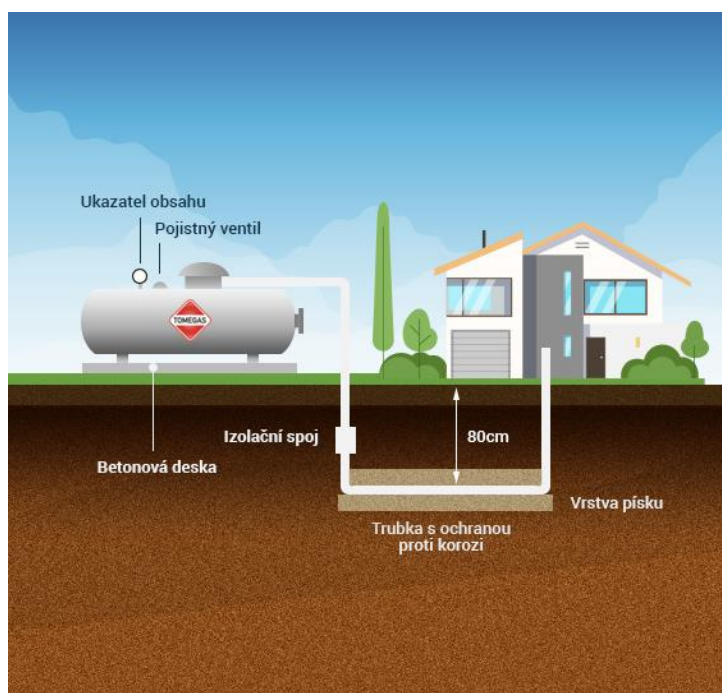
mít vybaven dům teplovodními radiátory. Náklady na provoz jsou relativně srovnatelné s ostatními druhy vytápění, avšak pořizovací cena kotle, radiátorů, zavedení přípojky a rozvodu plynu může být vyšší [21].

3.2.1 Zemní plyn

Vytápíme především zemním plynem. Jedná se o neobnovitelný zdroj, kterého je na Zemi stále dostatek. Složení zemního plynu je směs uhlovodíků, kdy až 95 % tvoří methan a zbytek tvoří sulfidy, oxid uhličitý a vzácné plyny. Tento plyn je netoxický, bezbarvý a bez zápachu, avšak kvůli své nebezpečnosti se mu přidává páchnoucí látka, aby při případném úniku jsme byli schopni reagovat. Plynovody zemního plynu jsou už dnes natolik rozšířené, že jej můžeme přivést do většiny domácností. Vytápění je velice komfortní, stačí nám pouze mít zapojenou plynovou přípojku do kotle a ten je sám schopen regulovat přívod a provoz. Výhřevnost se pohybuje kolem 30-35 MJ/m³ [22].

3.2.2 Zkapalněné plyny

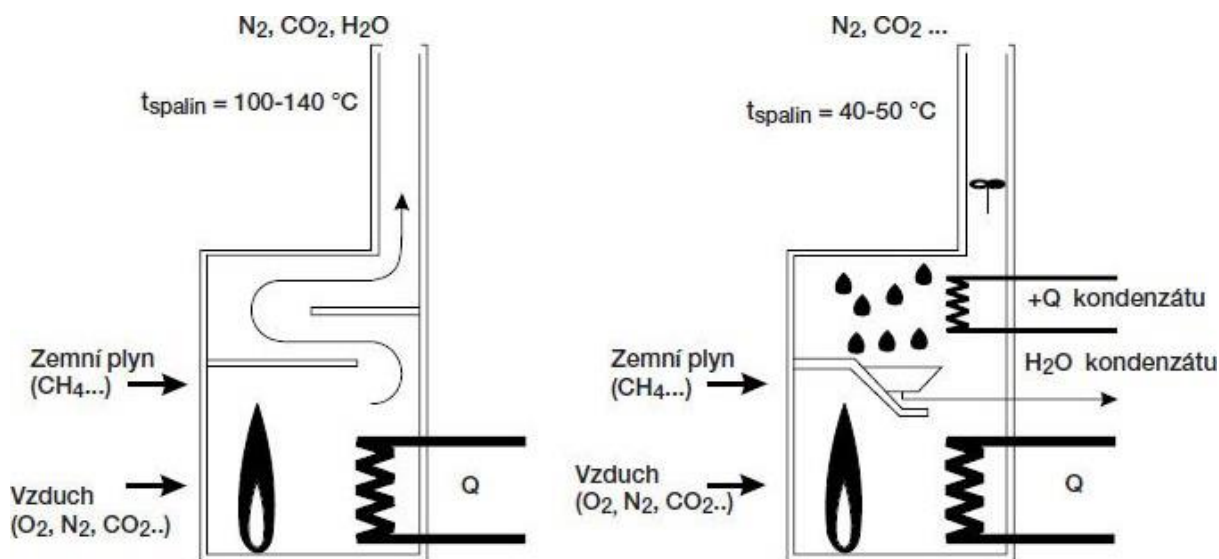
Pokud nejsme (ať už z jakýchkoliv důvodů) schopni zavést plynovou přípojku, nebo jednoduše nechceme, máme možnost vytápět pomocí zkapalněných plynů. Převážně se tak jedná o propan, butan nebo i samotný zemní plyn. Vlastnostmi jsou zkapalněné plyny velice podobné zemnímu plynu, mají většinou větší výhřevnost, avšak jsou finančně náročnější. Při vytápění zkapalněnými plyny musíme obstarat zásobník zkapalněného plynu v blízkosti domu, ze kterého bude přiváděn plyn do kotle a ten si opět už bude regulovat přívod a provoz sám [23].



Obrázek 3.2.2 Zásobník na plyn [24]

3.2.3 Kotle na vytápění plynem

Podle druhu spalování dnes využíváme kotle atmosferické a kondenzační. Nicméně i vytápění plynem zasáhly emisní vyhlášky a nutí nás především do pořízení kotle kondenzačního. Výrobci však i nadále vyrábějí kotle atmosferické přizpůsobené dnešním normám. Jeden z mála důvodů, proč se stále podporuje, jsou například domy, kde není dostatek prostoru pro vedení společného odvodu v plastu nebo nerez, což je problém hlavně pro majitele bytů [25].

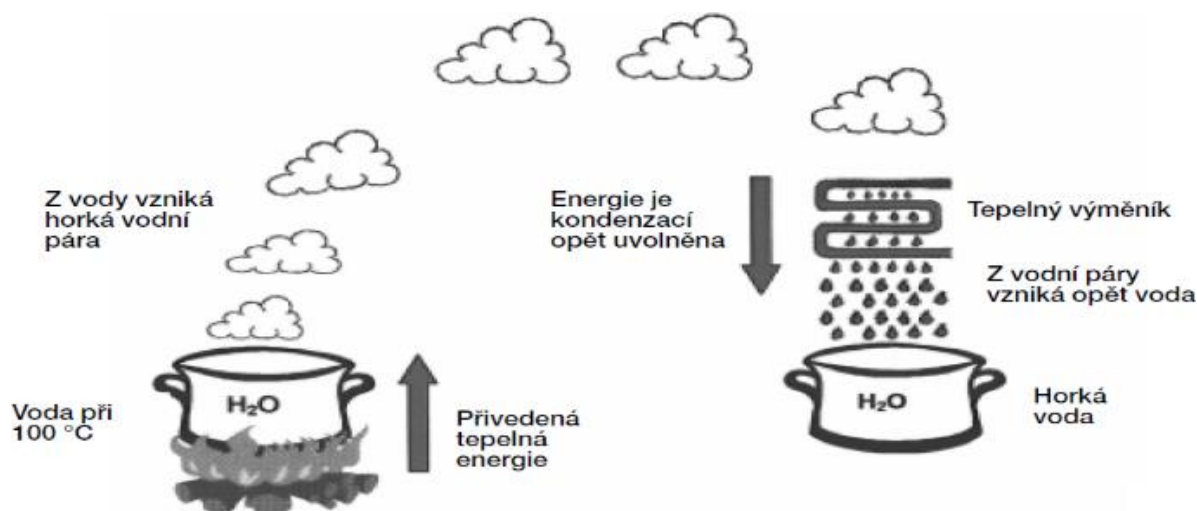


Obrázek 3.2.3 (1) Srovnání atmosférického (vlevo) a kondenzačního kotle [26]

Minulostí jsou už také i WAWky neboli lokální plynová topidla, které nejsou schopné být kombinovány s ostatními zdroji tepla, nejsou schopné být regulovány termostatem, mají nízkou účinnost a jsou hlučné [27].

Kondenzační kotel

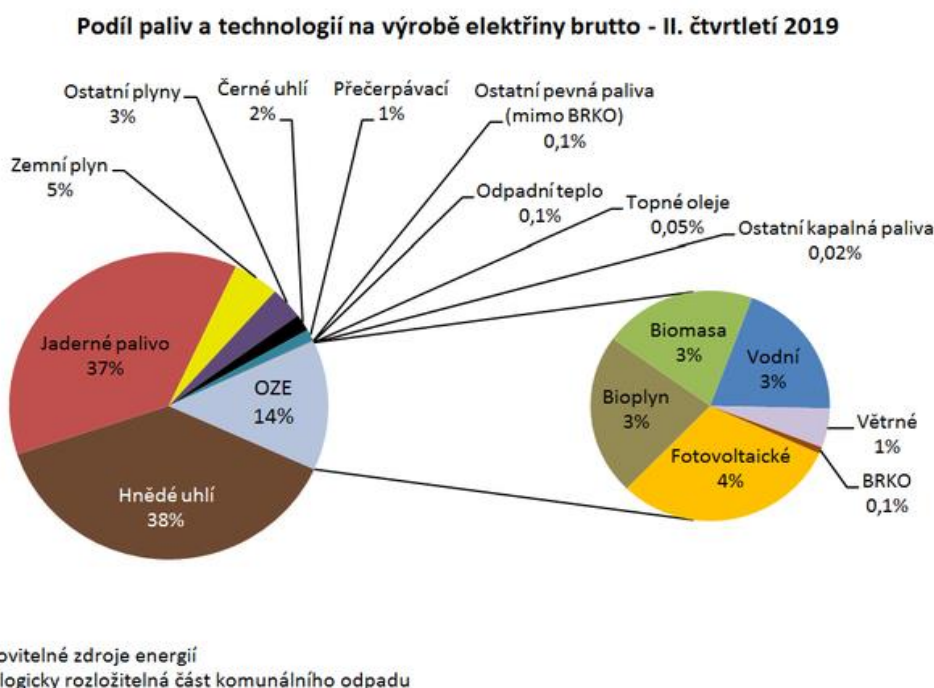
Z výše uvedených důvodů najdeme v rodinných domech nejpravděpodobněji právě kondenzační kotel. Díky pokrokové technologii řízení otopných soustav, regulace spalovacího procesu a využití kondenzace jsme schopni dosáhnout účinnosti až 90-108 %. Hlavním důvodem vysoké účinnosti kondenzačního kotle spočívá v tom, že dokáže využít uvolněnou energii vzniklou zkondenzováním vodní páry ve spalinách, zatímco u atmosférického kotle tahle energii odchází ve spalinách. Při ideálním spalování tak dochází k účinnosti kolem 97 % a při využití kondenzačního tepla par obsažených ve spalinách jsme schopni získat až dalších 11 %, proto se dostáváme až nad maximální fyzikální účinnost (100 %). Jak můžeme uhádnout z názvu, kotel pracuje na režimu kondenzaci páry obsažené ve spalinách. Spalinám, které by běžně odcházely ven komínem, snížíme teplotu pod rosný bod, voda následně zkondenzuje a uvolní se latentní teplo. Výměník kotle pak latentní teplo odebírá a využívá jej dále [29].



Obrázek 3.2.3 (2) Princip kondenzace v kondenzačním kotli [28]

3.3 Vytápění elektřinou

Dnes už by se bez elektřiny obešel málokdo. Je využívána ve všech odvětvích a možný déletrvající výpadek by mnohdy znamenal kalamitu. Vzhledem k tomu, že jsme schopni využít elektřinu kdekoliv, přivádění tepla tak není výjimkou. Naskytuje se nám tak komfortní a ekologická možnost vytápění elektřinou. Nutno však podotknout, že i když se dá elektřina považovat za neekologičtější zdroj vytápění, musíme brát v potaz výrobu téhle energie, která už tak ekologicky čistá není. Bereme samozřejmě do úvahy zdroj energie z ČR, kde je stále nejvíce energie vyráběno v tepelných elektrárnách, které už tak ekologicky čisté nejsou [30].



Obrázek 3.3 Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny v 2. čtvrtletí 2019 [30]

Z grafu na obrázku 3.3 můžeme víceméně vyčíst aktuální situaci podílu paliv na výrobu elektřiny. Výhled do budoucna slibuje stálé snižování využití fosilních paliv, růst výroby energie z obnovitelných zdrojů a jaderného paliva. Z čehož vyplývá ekologičtější výroba energie.

Pro vytápění elektřinou můžeme zvolit přímotopné systémy, akumulární zdroj, nebo využití tepelných čerpadel (která podrobněji rozebereme v kapitole 3.4 Tepelná čerpadla). Každá metoda funguje na odlišném principu, a hlavně spotřebovává jiné množství energie. Nutno za zmínku u všech typů však stojí, že největší nevýhodou vytápění elektřinou je její vysoká cena. Při celodenním využití energii nám pomůžou ušetřit tzv. dvoutarifové ceny energie, kdy v nočních hodinách je elektřina levnější.

3.3.1 Přímotopné systémy

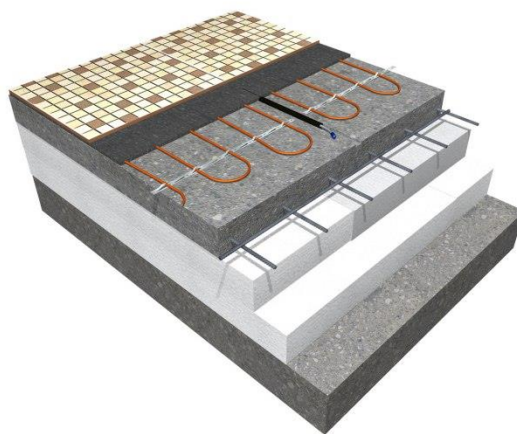
Přímotopné systémy fungují na principu současné výroby tepla a jeho předávání teplotonosné látky. Zajišťují tak okamžitou dodávku energii ke zvýšení teploty vzduchu. Využívá se tak přenos tepla především sáláním. Přímotopné zdroje umísťujeme přímo do vytápěné místnosti nebo do rozvodů otopné soustavy [31].

Podlahové vytápění

Jedná se o systém teplovodní nebo systém s elektrickými topnými kabely či foliemi. Umísťuje se především pod plovoucí podlahy a dlažbu. Můžeme jej využít i jako doplňkovou otopnou plochu pro danou místnost, kde požadujeme teplejší podlahu. Výhodou je nižší teplota teplotonosné látky, protože nepožadujeme velmi vysokou teplotu podlahy [31].



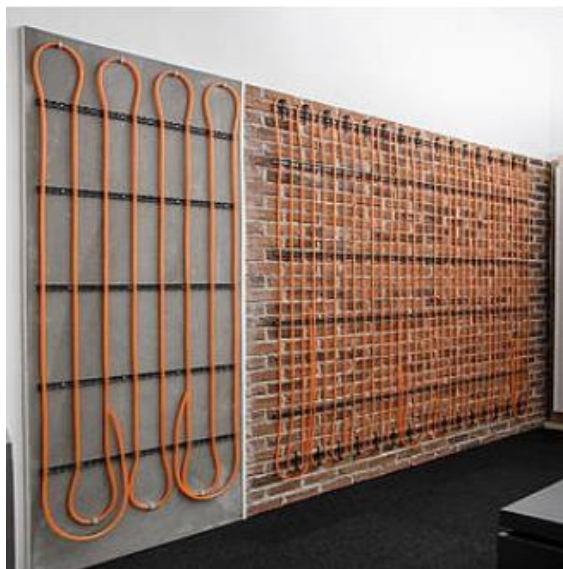
Obr. 3.3.1 (1) Podlahové vytápění teplovodní [33]



Obr 3.3.1 (2) Podlahové vytápění elektrické [33]

Stěnové a stropní vytápění

Stěnové i stropní vytápění je velice obdobné jako podlahové a funguje na stejném principu. Umisťujeme je většinou velkoplošně na celé ploše stěny pod vrstvu omítky. Vytápěná stěna nám tak poskytuje mnohem větší zdroj tepla, které místnost dostatečně vyhřeje [31].



Obrázek 3.3.1 (3) Stěnové vytápění [34]



Obrázek 3.3.1 (4) Stropní vytápění [35]

Infrapanely

Infrapanely neboli nástěnné přímotopné sálavé panely plní funkci topného tělesa, a protože se umisťují na viditelné prostory, využívají se také především jako estetická dekorace. Topné těleso může být tvořené z různých druhů materiálu (mramor, sklo či kov) a dokonale tak zapadne do interiéru. Nicméně abychom dosáhli největší účinnosti, musíme je umístit do prostoru, kde jim nebude stínit a bránit další nábytek [38].



Obrázek 3.3.1 (5) Infrapanely [36]

Infrazářiče

Infrazářiče využívají vlastnosti infračerveného záření. Funguje na podobném principu jako když nás zahřívá slunce. V zářiči se nahřívá odporový prvek a nahřívá přední desku. Od té je pak odraženo infračervené záření, které dopadá na předměty v místnosti (stěna, strop, podlaha) a vytváří teplo [31].



Obrázek 3.3.1 (6) Infrazářič [37]

3.3.2 Akumulační elektrické systémy

Akumulační zdroje jsou založeny na principu ukládání energie. Pro akumulaci zařízení máme k dispozici dvoutarifové sazby cen elektřiny, takže akumulaci zdroje odebírají a ukládají energii v době nízkého tarifu. Když je pak ohřátí vzduchu zapotřebí, akumulátor tepla uvolní energii ve formě tepla pomocí regulačního systému, nebo manuálně. Akumulační zdroje se mohou vyskytovat ve formě akumulacních kamen nebo topných podlahových kabelů přímo ve vytápěné místnosti, druhou možností je jejich umístění v rámci rozvodu otopné soustavy [31].



Obrázek 3.3.2 Akumulační zdroj [39]

Akumulační systémy jsou vhodné především do menších obytných ploch, nezabírají hodně místa a můžeme je například vestavět do nějakých částí nábytku. Novodobé akumulátory už jsou vybaveny regulačními systémy a automatikou nabíjení akumulacních nádrží, proto nemusíme do provozu nijak zasahovat a dosáhneme významných úspor energie [31].

3.3.3 Elektrokotel

Elektrokotle často budí pověst drahého vytápění. Nemusí tomu tak vždycky být a můžeme říct, že čím je nižší spotřeba energie, tím je výhodnější pořízení elektrokotle. Jedná se především o malé byty, prostory či pasivní domy, kdy pro vytápění je potřeba minimální množství energie. Pořízení elektrokotle je velice levná investice, můžeme ho regulovat a není potřeba žádný odtah spalin.

U rozměrnějších a energeticky náročnějších budov by se vytápění pouze elektrokotlem značně prodražilo, avšak využití se pro něj najde jako doplňkový zdroj. Nejčastěji se tak s ním setkáme u tepelných čerpadel a solárních systémů [32].

3.4 Tepelná čerpadla

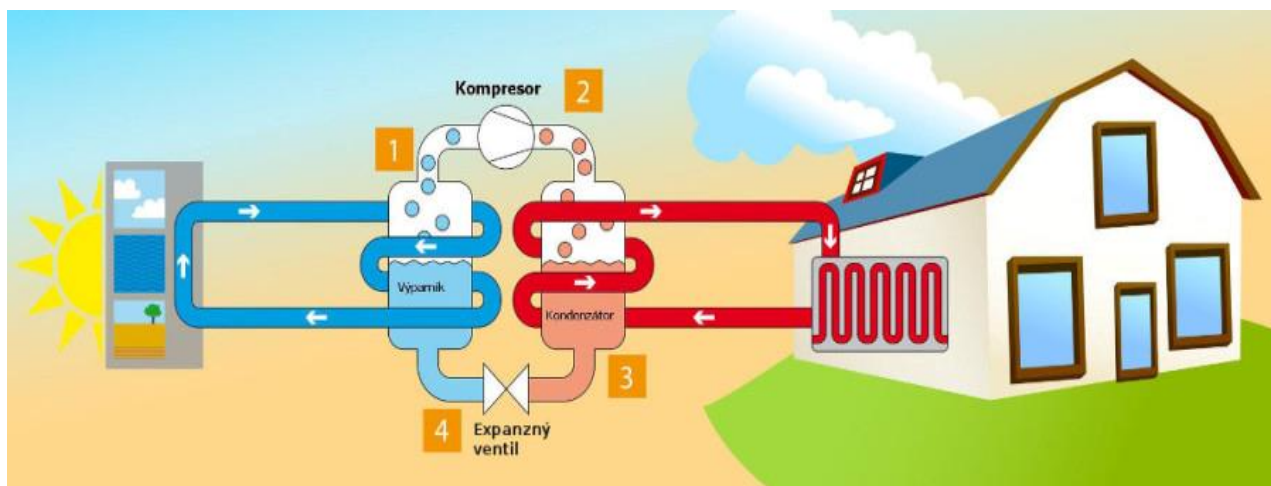
Velice progresivní metoda vytápění je pomocí tepelného čerpadla. Pro jeho chod je zapotřebí elektřina, která pohání kompresor a z obnovitelných zdrojů z prostředí (voda, vzduch, země) se čerpá energie. Samotná technologie je už známá od 19. století, nicméně hojně využívaná na vytápění rodinných domů začala v České republice až počátkem 21. století. Mohou za to především specializované tarify s levnější elektřinou pro majitele tepelných čerpadel a vyspělost technologií, které dnes dokážou i při vysokých mrazech produkovat dostatek tepla [40].

Podobně jako u elektřiny, můžeme tepelná čerpadla považovat za jednu z nejekologičtějších variant vytápění, které navíc nepotřebují ani zdaleka takové množství energie na pohon kompresoru, jako pro pohon elektrického kotle či jiného elektrického zdroje. V praxi tak můžeme uvažovat neekologickou akorát výrobu elektrické energie, která, jak už bylo výše zmíněno, je v České republice převážně v tepelných elektrárnách. Existuje také tepelné čerpadlo absorpční, které místo kompresoru využívá tepelný proces. Taková čerpadla jsou tišší, účinnější, ale podstatně dražší, a proto nejsou v současnosti tak populární [41].

Při pořizování tepelného čerpadla musíme uvažovat s vysokými náklady, které však nám mohou usnadnit dotace. Při výpočtu ceny tak počítáme hlavně návratnost vzhledem k ostatním levnějším pořizovacím variantám vytápění, která se u novostaveb nebo zrekonstruovaných domů pohybuje kolem 8-10 let. Tohle číslo je velice orientační a dle subjektivního využití může nabývat úplně jiných hodnot. Další investice pak vedou akorát do výměny kompresoru, který má životnost kolem 15–20 let, související hlavně s druhem tepelného čerpadla [41].

3.4.1 Princip kompresorového tepelného čerpadla

Výparník z okolního prostředí (voda, vzduch, země) odebírá nízkopotenciální teplo a předává ho kapalnému chladivu kolující uvnitř zařízení. V oblasti výparníku je velmi nízký tlak, a proto se chladivo snadněji vypařuje. Elektřinou poháněný kompresor pak vzniklý plyn nasaje, dochází k prudké kompresi, po níž pak plyn je ohřátý na teplotu kondenzace. Kompresorem zahřáté chladivo pak putuje do kondenzátoru. V kondenzátoru přijaté chladivo zkondenzuje a předává teplo do otopné soustavy. Chladivo pak dále pokračuje v oběhu do expanzního ventilu. Expanzní ventil funguje jako údržba tlakového rozdílu mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou celého oběhu. Chladivo se průchodem přes něj ochladí a za sníženého tlaku vstupuje do výparníku. Celý proces se neustále opakuje a můžeme tak říct, že tepelné čerpadlo přečerpává teplo z vnějšího prostředí [42].



Obrázek 3.4.1 Princip tepelného čerpadla [43]

3.4.2 Topný faktor

Topný faktor je základním parametrem tepelných čerpadel a jeho hodnota vypovídá o jeho účinnosti. Jedná se poměr mezi teplem vyrobeným a spotřebovanou elektrickou energií. Vyšší topný faktor znamená lepší tepelné čerpadlo, z důvodu menšího požadovaného množství elektrické energie [44].

$$\varepsilon = \frac{Q_H}{Q_C} [-]$$

ε [-] Topný faktor

Q_H [J] Energie pracovní látky vytvořená okolím

Q_C [J] Energie spotřebovaná kompresorem

Hodnota topného faktoru se obvykle pohybuje v rozmezí 2,5 až 5. Hodnota není konstantní, ale závisí jednak na druhu tepelného čerpadla, a hlavně na základě podmínek, ve kterých tepelné čerpadlo pracuje. Proto je vhodné při výběru typu tepelného čerpadla dbát na podmínky prostředí, ve kterých bude oběh kolovat, a vybrat tak nejpriznivější variantu [44].

3.4.3 Sezónní topný faktor

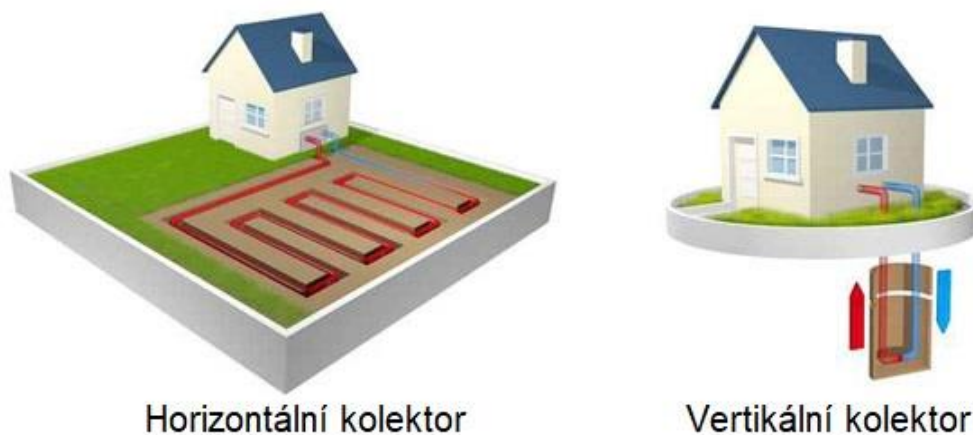
Sezónní topný faktor je teoretická hodnota, která byla stanovena na základě dat z testování tepelného čerpadla ve zkušebně a odpovídá klimatickým podmínkám, kde se bude využívat. V našem případě se jedná o mírné pásmo. Taková hodnota se pak uvádí na trhu a pořizovatel tak bude mít přibližnou hodnotu, kterou může dosáhnout [45].

Vzhledem k tomu, že se jedná o teoretickou hodnotu měřenou na daném místě za daných podmínek, nemusí to zcela odpovídat realitě. Pro mírné pásmo jsou

definované mírnější zimy, proto například měření neuvažuje s teplotami klesajícími pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, což není zase tak neobvyklé. Mezi další ovlivnitelné faktory patří teplota otopného systému, což je subjektivní záležitost každého uživatele a dle potřeby může teplotu otopného systému zvýšit, než je uvažovaná. Sezónní topný faktor rovněž neuvažuje s ohřevem teplé vody, což je u pořizování tepelného čerpadla běžný předpoklad. Výsledný topný faktor je tak po zahrnutí všech reálných podmínek zcela nižší, než je hodnota sezónního topného faktoru, která je uvedena při pořizování tepelného čerpadla [45].

3.4.4 Tepelné čerpadlo země-voda

Jedná se o nejstabilnější systém tepelného čerpadla, kde nezávisí na venkovních klimatických podmínkách a tepelné čerpadlo stále funguje při vysoké účinnosti. Abychom však dosáhli úplné teplotní pohody, tak jsou tepelná čerpadla typu země-voda provozována v bivalentním provozu, což znamená, že pod bivalentním bodem je vhodné připojit doplňkový zdroj tepla a jsou v chodu obě zařízení. Teplota bodu bivalence u tepelného čerpadla země-voda je kolem $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samotné zařízení je umístěno uvnitř domu a venku pak celé potrubí, které ze země čerpá energii. Hlavní nevýhoda spočívá v rozsáhlých zemních pracích, kdy základem pro čerpání tepla je nutná instalace horizontálního nebo vertikálního kolektoru [46].



Obrázek 3.4.4 Tepelné čerpadlo země-voda [48]

Horizontální kolektor vyžaduje dlouhé výkopy, které jsou hluboké minimálně 1,5–2 m v zemi a jejich délka pro běžný rodinný dům musí být alespoň 200 m. Je nutné proto mít k dispozici dostatečně velkou plochu na jejich umístění [47].

Pro instalaci vertikálního kolektoru si potřebujeme nechat udělat geotermální vrt, případně více vrtů, které sahají až 100–150 m pod zemský povrch. Pro jejich instalaci je nutná jednak hydrogeologická dokumentace, která musí na daném místě vrtání schválit, a pak provedení samotného vrtu. Pokud je vše v pořádku tak ušetříme prostor, ale instalace geotermálních vrtů je velice drahá záležitost [47].

3.4.5 Tepelné čerpadlo voda-voda

Pokud máme v lokalitě domu zdroj povrchové nebo (dnes už převážně) podzemní vody, naskytuje se nám možnost využít systém voda-voda. Kvůli své vhodnosti polohy tento systém není moc rozšířený, ale při jeho pořízení se můžeme těšit nejvyšším možným topným faktorem. Pořízení a instalace samotného tepelného čerpadla finančně náročná není, nicméně je nutná častá údržba komponentů a vyšší náklady na provoz.

Základem systému voda-voda jsou dvě studny vzdálené od sebe minimálně 15 m v hloubce takové, aby se tam nacházela podzemní voda s průtokem alespoň 0,5 l/s. Zastaralejší a dnes už méně využívaná alternativa jsou otevřené vodní plochy (rybník, jezero, řeky). Může za to především náročná administrativa, kolísavost množství vody a její teplota [49].



Obrázek 3.4.5 Tepelné čerpadlo voda-voda [50]

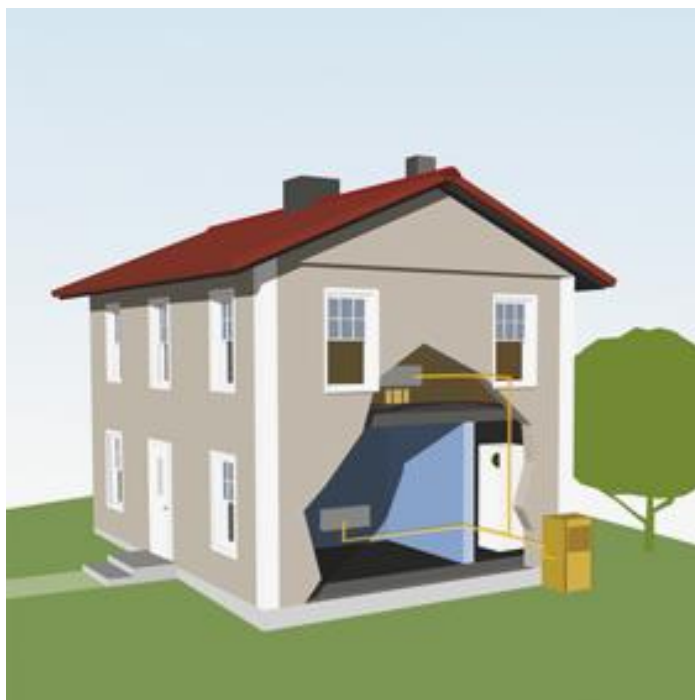
3.4.6 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

S výjimkou horských oblastí, kde průměrná teplota dosahuje v zimě kolem -5°C , je tento systém vhodný do jakékoliv lokality. Není nutné provádět žádné zemní práce a instalace je jednoduchá. Celý systém je ovlivněn akorát teplotou venkovního vzduchu. Proto při nižších teplotách tak musíme, stejně jako u tepelného čerpadla země-voda, připojit doplňkový zdroj tepla pro úplnou teplotní pohodu. Teplota bodu bivalence u tepelného čerpadla vzduch-voda je kolem -3°C až -5°C . Při uvažování extrémních podmínek je většinou čerpadlo schopno fungovat pouze do -20°C , poté už vytápí dům pouze doplňkový zdroj tepla. Tepelné čerpadlo se může skládat ze dvou jednotek, kdy jedna se nachází uvnitř, druhá venku a jsou navzájem propojeny, nebo z jedné kompaktní jednotky, která může být uložena vevnitř nebo venku. Vnitřní kompaktní jednotka pak musí být opatřena vzduchotechnickým potrubím, která zajistí

přívod a odvod venkovního vzduchu [51].

V aktuální situaci, kdy se průměrná teplota zvyšuje a snižuje se počet dní, kdy klesne pod 0 °C, se tepelné čerpadlo vzduch-voda určitě nabízí. Při jarních a podzimních teplotách výkon dosahuje k hodnotám, jaká mají ostatní typy čerpadel, v létě jej pak můžeme využít jako klimatizaci. Instalace není finančně náročná a při ideálních podmínkách má nižší náklady za provoz, avšak komponenty čerpadla mají nižší životnost a také některé systémy mohou mít povinné roční revize.

Nevýhodou může být hlavně hlučnost venkovní jednotky, proto musíme zvážit její umístění [51].



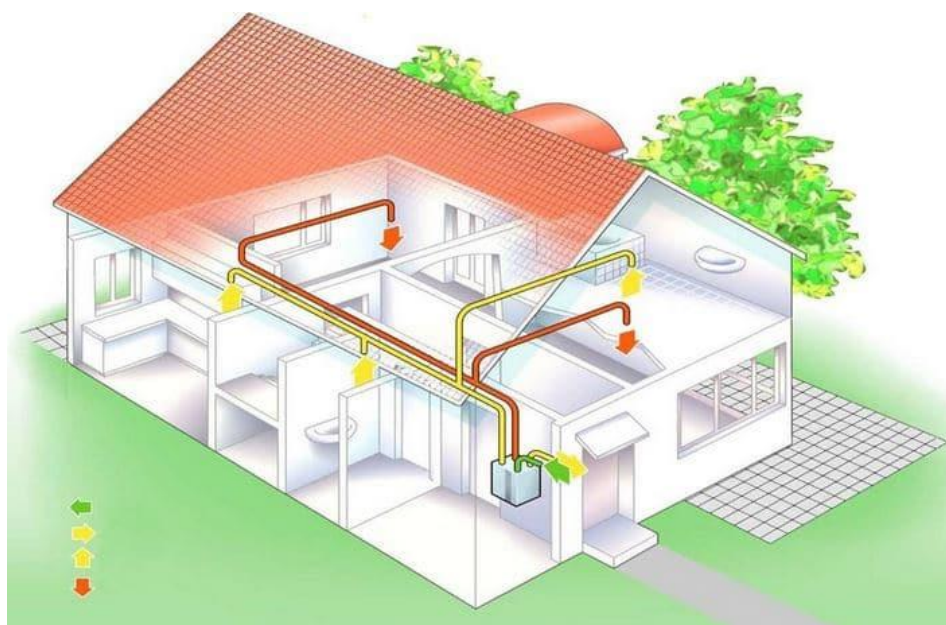
Obrázek 3.4.6 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [52]

3.4.7 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Obdobně jako tepelné čerpadlo vzduch-voda funguje tepelné čerpadlo vzduch-vzduch, s tím rozdílem, že z venkovního prostředí nám do vnitřních prostorů tepelné čerpadlo přímo přivádí tepelný výkon. Je tak nutné mít v domě jednu nebo více vnitřních jednotek, které nám budou vytápět místnosti, ve které je umístíme. Z tohoto důvodu není vhodné takové tepelné čerpadlo instalovat do domů, které mají mnoho menších pokojů [53].

Systém vzduch-vzduch má nejlevnější pořizovací ze všech variant tepelných čerpadel a také dosahuje slušného topného faktoru, protože všechna vytvořená tepelná energie se ihned uvolňuje do prostředí. Další příznivé využití je možnost odvlhčování nebo čištění vzduchu, v létě pak může fungovat i jako klimatizace.

Hlavní nevýhodou je nemožnost ohřívat teplou užitkovou vodu a při plném výkonu dochází k vysoké hlučnosti [54].



Obrázek 3.4.7 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch [55]

3.4.8 Absorpční tepelné čerpadlo

Absorpční tepelné čerpadlo využívá jako pohon tepelný proces (desorpci) a z obnovitelných zdrojů se čerpá energie (nejčastěji vzduch). Jak už bylo zmíněno, absorpční tepelná čerpadla jsou stále ve vývoji a dosahují lepších výsledků než tepelná čerpadla kompresorová, avšak kvůli své vysoké finanční náročnosti se ještě neprosadila. Absorpční tepelná čerpadla můžeme rozdělit na základě toho, jaký tepelný zdroj je poháněn [56].

Nejčastěji se u rodinných domů setkáme s přímo vytápěnými jednotkami. Tepelná energie pro desorpci vzniká spalováním plynu, bioplynu či nafty. Jednotky se běžně konstruují v kompaktním provedení a můžou tak kromě vytápění sloužit ke klimatizaci. Nepřímo vytápěné jednotky využívají tepelnou energii vytvořenou v jiném zdroji tepla než v absorpčním tepelném čerpadle. Pro desorpci je pak využívána voda, pára nebo spaliny. Vlastnosti přímých a nepřímých jednotek můžeme zkombinovat a využít tak více zdrojů energie. Kombinovaná jednotka je vhodná, pokud dodávky tepla primárního zdroje nejsou stabilní a máme možnost využít jiný zdroj energie [57].

3.5 Vytápění pomocí solární energie

Čím dál více se snažíme využít veškerou možnou energii z venkovního prostředí, proto nemůžeme pominout solární energii, která svojí hodnotou by paradoxně mohla pokrýt veškeré naše energetické výdaje, avšak prozatím jsme schopni využít pouze velmi malou část sluneční energie pro naše využití.

Pokud budeme stále schopni využít pouze tak značnou část solární energie, budeme muset uvažovat solární zdroj energie pouze jako doplňkový. V létě, kdy svítí slunce dostatečně, energii na vytápění prakticky nevyužijeme a slouží nám především pro ohřev teplé užitkové vody, chlazení bazénu nebo sušení. Zásobníky energie tak jsou plné a přehřívají se, což může způsobit jejich poruchu nebo nestabilní chod. Na pozdní jaro a brzký podzim můžeme stále vyjít pouze se solární energií, ale pouze za ideálních podmínek. Při poklesu teploty a blížící se zimě už sluneční záření nevyprodukuje dostatek energie a jsme schopni pokrýt pouze minimum vyžadované energie [58].

3.5.1 Ideální podmínky pro absorpci solární energie

Když už dokážeme ze slunce využít nějaký ten zlomek energie, pro maximální využití musíme tomu v malém množství sami nápomoci, další faktory už ovlivňují klimatické podmínky.

Sluneční energii absorbujeme především pomocí solárních panelů. Které se umísťují na místo, kde dopadá nejvíce slunečního záření. V zásadě bývají na střeše, kde pak můžeme i jednoduše napojit přívod energie do domu. Umísťují se na jižní strany, pokud možno se sklonem 45°- 90°. Pro vyšší účinnost se doporučuje alespoň dostatečná tepelná izolace a kvalitní okna. Další podmínky jsou dané především zeměpisnou polohou. V našem klimatickém pásmu nás zajímá především zeměpisná šířka, kdy směrem jižně k rovníku se zvyšuje délka slunečního svitu. Česká republika sice není rozlehlá z hlediska zeměpisné šířky, ale hodnoty délky slunečního svitu se mezi severem Čech a jihu Moravy značně liší. V severních Čechách dopadá až 200-300 méně hodin slunečního svitu než na jižní Moravě [59].

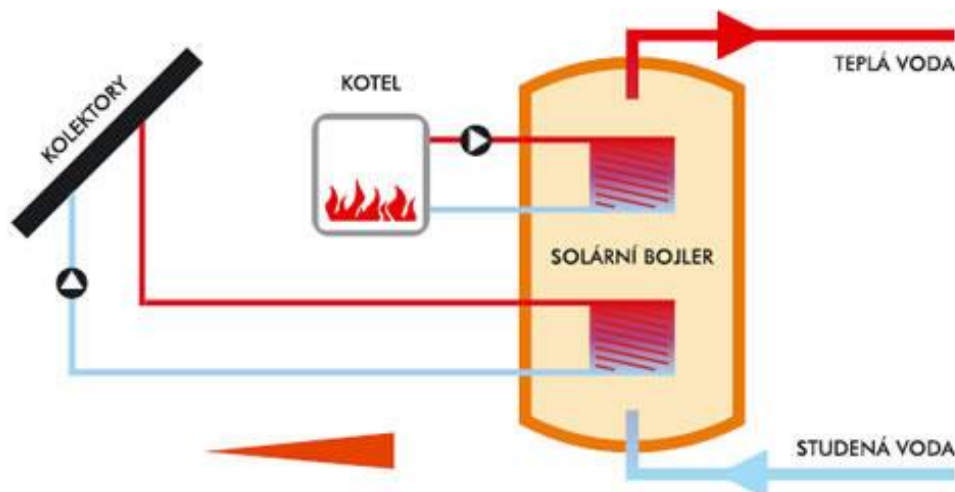
Tabulka 3.5.1 Přehled délky slunečního svitu za dané období v hodinách [59]

| Rok | Období | | | | |
|------|--------|-------|-------|--------|----------|
| | Zima | Jaro | Léto | Podzim | Celý rok |
| 2019 | 146,2 | 299,3 | 503,3 | 223,3 | 1172,1 |
| 2018 | 102,4 | 409,5 | 440 | 284,5 | 1236,4 |
| 2017 | 152,1 | 331,1 | 502,4 | 169,4 | 1155 |
| 2016 | 117,2 | 304,7 | 423,1 | 214,7 | 1059,7 |
| 2015 | 125,3 | 305,3 | 439,5 | 180,1 | 1050,2 |
| 2014 | 100,8 | 312,1 | 443,9 | 127,9 | 984,7 |

Tabulka 3.5.1 uvádí počet hodin délky slunečního svitu za posledních 6 let měřené na meteostanici v kraji Vysočina. Můžeme tak říct, že daná meteostanice se nachází přibližně ve středu naší republiky a hodnoty se dají považovat za průměrné. Průměrná hodnota se pak pohybuje kolem 1100 hodin slunečního svitu za rok. Dlouhodobě však můžeme říct, že se zpravidla každým rokem počet hodin zvyšuje [60].

3.5.2 Vytápění s použitím kapalinových solárních panelů

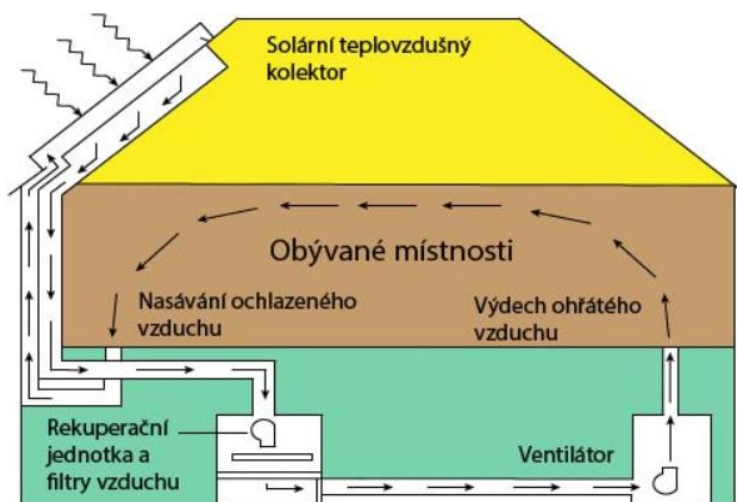
Jako u všech solárních variant, základem jsou solární panely. Pod solárními panely je systém trubek, ve kterém proudí kapalina a ta se vlivem sluneční energie ohřívá. V centrálním zásobníku pak dochází k ohřevu užitkové vody a vystupuje z něj teplá voda do otopného systému [58].



Obrázek 3.5.2 Kapalinové solární panely [61]

3.5.3 Vytápění s použitím teplovzdušných solárních panelů

Pod solárními teplovzdušnými panely se opět nachází systém trubek, ve kterém však proudí vzduch. Ten je pomocí solárních kolektorů ohříván a ventilátorem vháněn do místnosti. Dále je v místnosti rovněž vstup pro nasávání ochlazeného vzduchu, který pak putuje dál do potrubí a je solárními kolektory znovu ohříván. Tento systém tak může fungovat i jako klimatizace, ale podobně jako většina systémů ohřívání vzduchem jej nemůžeme využít pro ohřev užitkové vody [58].



Obrázek 3.5.2 Kapalinové solární panely [62]

3.5.4 Vytápění pomocí fotovoltaiky

Solární panely pomocí fotočlánků přeměňují solární energii na elektrickou a tu pak pomocí rozvodů využijeme na, v našem případě, vytápění pomocí elektrických přímotopů. Fotovoltaické solární kolektory můžeme umístit i daleko od vytápěného objektu, protože přenášíme elektrickou energii, avšak za cenu ztráty části energie. Fotovoltaické panely tak fungují jako doplňkový zdroj při vytápění elektřinou [58].

3.6 Kombinované vytápění

Všechny z uvedených metod vytápění můžeme zpravidla nějak zkombinovat, pokud dokážou spolu nějak kooperovat a vytvořit tím lepší podmínky pro naše potřeby. Snažíme se tak najít přívětivě řešení, které nám pomůže zlepšit tepelnou pohodu, ušetřit náklady na provoz, nebo třeba jen požadujeme jiný typ vytápění pro určité potřeby. Druhů kombinací můžeme vymyslet nespočet, otázkou však je, jestli to naplní naše očekávání a vyplatí se.

3.6.1 Akumulace

Dalším primárním cílem většiny kombinací je omezení zdrojů. Snažíme se veškerou získanou energii využít, ale v tom momentu není aktuálně žádaná. A naopak, když ji potřebujeme nejvíce, získanou energii nemůžeme získat. To je příklad fotovoltaických článků, kdy v létě dopadá nejvíce slunečního svitu, ale vytápět nepotřebujeme. V zimě pak tolik slunce nesvítí a energie je málo. Obdobný příklad je u tepelných čerpadel, kdy s klesající teplotou nám klesá účinnost čerpadel a tím vyšší náklady. V létě pak tepelné čerpadlo funguje bez problému, ale není tolik důvodů vytápět.

Řešením jsou akumulátory, které jsou schopny energii v nepotřebný čas uchovat a využít ji, když je potřeba. V praxi však nejsme schopni dosáhnout nějakých velkých kapacit, proto se nejčastěji setkáváme pouze s menšími zdroji, které tak fungují jako doplňkové [63].

3.6.2 Kombinace otopného systému

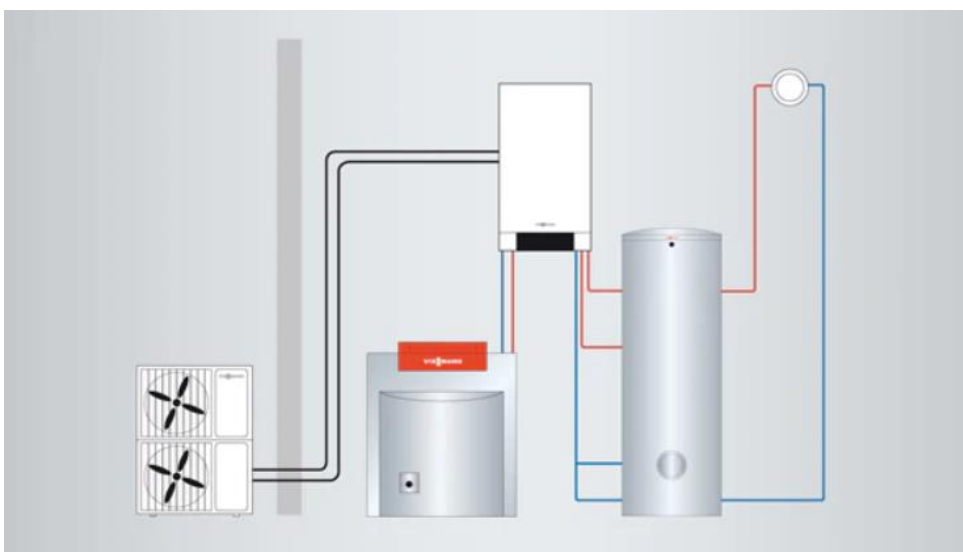
S kombinací otopného systému se dnes můžeme setkat u většiny novostaveb. Uživatel si tak může dle vlastních potřeb vytápět každou místnost jiným způsobem. Vídáme tak nejčastěji kombinace podlahového vytápění s radiátory a v případě potřeby větší tepelné pohody doplňujeme nějaký záložní zdroj jako například krb či akumulární zdroj.

3.6.3 Kombinace tepelných zdrojů

Univerzální odpověď na otázku: „Jaká kombinace je nejlepší“ neexistuje. Kombinace tepelných zdrojů je vždy v zájmu uživatele a ten musí vycházet z dostupných zdrojů. Pokud máme v blízkosti les a tím tak přístup k dřevu, na místě je určitě sáhnout po doplňkovém zdroji na dřevo. Jestliže máme obytnou chatu v nepřístupných místech, kde vypadává elektřina nebo tepelné čerpadlo není schopno pracovat na 100 %, je doplňkový zdroj potřebný a musíme najít vhodnou variantu. Tohle byly pouze namátkové příklady, které vedou uživatele využít více tepelných

zdrojů a našlo by se jich určitě zdaleka více.

U tepelných čerpadel jsme se setkali s pojmem bivalentní režim, kdy při určitých teplotách není tepelné čerpadlo schopné pracovat na nejvyšší výkon a připojujeme tak doplňkový zdroj. Nejčastěji to je klasický elektrokotel, který se dá instalovat i přímo do zařízení, ve kterém je tepelné čerpadlo umístěno. Většinou si tak systém dokáže regulovat přívod elektrické energie a v případě poklesu výkonu tepelného čerpadla se elektrokotel sám spustí. Další možností je samotné tepelné čerpadlo (vzduch-voda) zkombinovat s kotlem na olej či topný plyn. Taková varianta zajišťuje vysokou tepelnou pohodu, možnost regulace, chlazení a je ekologická [64].



Obrázek 3.6.3 Hybridní zařízení [65]

Ostatní kombinace už považujeme především jako vytápění hlavním zdrojem se zdrojem doplňkovým. Jako hojně využívané doplňkové zdroje nám mohou sloužit kamna a krby na tuhá paliva, akumulární zdroje a většina druhů solárního vytápění.

4 Shrnutí použitelných metod vytápění

Seznámili jsme se s dostupnými variantami a následně krátce shrneme jejich vhodnost dle hlavních kritérií. Především se jedná o provozní a investiční náklady, komfort uživatele a šetrnost k životnímu prostředí. Pro jejich vhodnost je také velmi důležité poukázat na jeden vytápěcí paradox, kdy se vlastně snažíme mít co nejlépe zaizolovaný rodinný dům s malými tepelnými ztrátami a chceme také tento dům levně vytápět, ideálně nějakou vhodnou progresivní metodou. Pointa je však v tom, že čím menší budou tepelné ztráty, je zapotřebí méně vytápět a některé varianty vytápění tak ztrácejí na účinnosti.

Následující tabulka 4.0 nám pomůže rychle a stručně si udělat obrázek o dané metodě vytápění dle hlavních kritérií. Vycházíme z obecných předpokladů a jak už bylo několikrát zmíněno, pro různé rodinné domy s různými požadavky na vytápění by se mohlo známkování mírně lišit.

V tabulce jsou uvedeny jednotlivé druhy vytápění s výjimkou ostatní biomasy

(pelety, brikety, štěpka), u kterých jsou hodnoty velice obdobné, proto jsou zahrnuty dohromady. Dále neuvažujeme metody, které slouží převážně jako doplňkové zdroje vytápění, např. vytápění solární energií.

Tabulka 4.0 Srovnání jednotlivých typů vytápění

| | Provozní náklady | Investiční náklady | Komfort | Šetrnost k životnímu prostředí |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|----------|--------------------------------------|
| Uhlí | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Koks | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Kusové dřevo | 2 | 2 | 4 | 3 |
| Ostatní biomasy | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Plyn | 3 | 2 | 1 | 2 |
| Elektřina | 5 | 1 | 1 | 1 |
| Tepelné čerpadlo | 1 | 5 | 1 | 1 |

Tabulka 4.1 Vysvětlení hodnot z tabulky 4.0

| | |
|----------|--------------------------------|
| 1 | Velmi dobré / Nenáročné |
| 2 | Dobré / Méně náročné |
| 3 | Průměrné |
| 4 | Podprůměrné / Náročné |
| 5 | Špatné / Velmi náročné |

Jak můžeme vidět v tabulce 4.0, na první pohled nevypadá žádná vytápěcí metoda vyloženě nevyužitelná. U tuhých paliv se většinou očekávají přijatelné náklady na provoz, ale za cenu nižšího komfortu, pod kterým si představujeme veškerou manuální práci s palivem, přikládání a skladování. Vytápění plynem je stále cenově přijatelné, systém je schopný samoregulace a obsah spalin je o něco ekologičtější než u tuhých paliv. Vytápění elektřinou se jeví jako jednoduchá a přijatelná varianta, ale z dlouhodobého hlediska je to velká finanční zátěž, protože má největší náklady na provoz. Tepelná čerpadla jsou naopak investicí do budoucna, a kromě velmi vysokých investičních nákladů bychom je těžce mohli srovnávat s jinou vytápěcí metodou.

5 Modelový dům

Pro bližší seznámení s problematikou provedeme porovnání vybraných metod vytápění na modelovém domě. Pro modelový dům bude srovnán aktuální způsob vytápění s alternativními. Bude nás zajímat především hledisko nákladů za roční provoz a investici, komfort uživatele a hledisko ekologie. Závěrem pak bude porovnání z teoretického i praktického hlediska.

5.1 Popis domu

Vybraný modelový dům se nachází v Moravskoslezském kraji v odlehlé části města Karviná v nadmořské výšce kolem 220 m. n. m. Jeho velikost je 225 m², byl postaven v roce 1975, každopádně prošel v posledních letech rekonstrukcí, takže je zateplený, má plastová okna a venkovní rolety, které taky mají svůj podíl na menších tepelných ztrátách. Dům má dvě podlaží a obývají ho dohromady 4 osoby po celý rok, takže je vytápěn celoročně (v období, kdy je potřeba topit).



Obrázek 5.1 Modelový dům

5.2 Aktuální způsob vytápění

Jak už bylo zmíněno, dům je dobře zaizolován a dochází tak k menším tepelným ztrátám. Při instalaci nynějšího vytápěcího zařízení byla projektantem zřizovací společnosti vypočítána hodnota tepelných ztrát dle hrubého propočtu 9,5 kW. Pro uvedenou tepelnou ztrátu v dané oblasti se roční spotřeba energie na vytápění pohybuje kolem 18 050 kWh a cca 4000 kWh na ohřev teplé užitkové vody.

V roce 2011 byl plynový kotel vyměněn za tepelné čerpadlo. Vzhledem k prostornému pozemku byl zvolen systém tepelného čerpadla země-voda se zemním kolektorem. Celková délka kolektoru je 373 m a je položen v hloubce cca 1,2 m. Bylo pořízeno tepelné čerpadlo IVT GREENLINE HE C9 se zemním kolektorem, v kterém je uvnitř doplněn elektrokotel na výpomoc při nižších teplotách a zásobník pro ohřev teplé užitkové vody. Celý dům je vybaven a vytápěn radiátory, které vytápějí na průměrnou teplotu 21 °C. Cena samotného zařízení byla 218 000 Kč, avšak investiční náklady včetně všech zemních prací a instalací byly vyčísleny na 296 800 Kč. Přívod elektřiny je vedený firmou ČEZ a díky provozu tepelného čerpadla byl umožněn výhodnější tarif D56D.



Obr. 5.2 Tepelné čerpadlo Greenline He [66]

5.2.1 Naměřená data za provozu čerpadla

Po celou dobu provozu tepelného čerpadla jsou vedená data ohledně spotřeby, proto můžeme tyto data využít pro porovnání s teoretickým výpočtem a udělat patřičný závěr.

Do systému byly zadávány hodnoty odečtů energie spotřebované a vytvořené tepelným čerpadlem, z čehož pak můžeme vypočítat topný faktor. Celoroční spotřebovaná energie je pak vynásobena cenou za elektřinu a připočteny ostatní poplatky za elektrickou energii. Celková cena za roční provoz čerpadla v roce 2019 byla 14321 Kč.

5.2.2 Teoretický výpočet spotřeby a nákladů na vytápění

Pro výpočet roční spotřeby budeme potřebovat hodnotu energie potřebnou k vytápění a podělíme ji hodnotou topného faktoru čerpadla. Budeme uvažovat 2 případy. Jeden pouze s potřebnou energií na vytápění, a druhý případ se spotřebou energie za vytápění i ohřev teplé užitkové vody. Budeme uvažovat výpočet pro data a hodnoty v roce 2019.

$$P_{T\check{C}} = \frac{Q}{\varepsilon} [MWh]$$

$P_{T\check{C}}$ [MWh] Roční spotřeba energie na vytápění

Q [MWh] Energie potřebná k vytápění

ε [-] Topný faktor tepelného čerpadla

Jak už bylo výše zmíněné, na vytápění samotné je energie potřebná cca 18050 kWh a ohřev vody 4000 kWh. Na základě hodnot spotřeby a výroby energie můžeme určit průměrnou hodnotu topného faktoru, kterou v našem případě budeme uvažovat 3,9.

$$P_{T\check{C}1} = \frac{18,050}{3,9} = 4,628 [MWh]$$

$$P_{T\check{C}2} = \frac{18,050 + 4}{3,9} = 5,654 [MWh]$$

$P_{T\check{C}1}$ [MWh] Roční spotřeba energie na vytápění

$P_{T\check{C}2}$ [MWh] Roční spotřeba energie na vytápění + ohřev vody

Pro výpočet nákladů na vytápění pak potřebujeme veškeré ceny spojené s dodávkou elektřiny. Vycházíme z roku 2019, kde byl využit v roce 2018 tarif elektřiny na 3 roky, což vedlo k výraznému poklesu ceny elektřiny [67].

$$N_{T\check{C}} = P_{T\check{C}} \cdot N_E [Kč]$$

$$N_{T\check{C}1} = P_{T\check{C}1} \cdot N_E = 4,628 \cdot 1673 = 7743 Kč$$

$$N_{T\check{C}2} = P_{T\check{C}2} \cdot N_E = 5,654 \cdot 1673 = 9549 Kč$$

$N_{T\check{C}}$ [Kč] Roční náklady na provoz tepelného čerpadla

$P_{T\check{C}}$ [MWh] Roční spotřeba energie na vytápění / včetně ohřevu vody

N_E [Kč/MWh] Cena elektrické energie včetně daně a systémových služeb

Pro porovnání s naměřenými daty budeme muset do výpočtu zahrnout také ostatní poplatky za elektřinu.

$$\begin{aligned}N_{T\check{C}} &= P_{T\check{C}} \cdot N_E + (N_{EO} \cdot 12 \cdot k_{EO}) \text{ [Kč]} \\N_{T\check{C}2} &= P_{T\check{C}2} \cdot N_E + (N_{EO} \cdot 12 \cdot k_{EO}) = \\&= 5,654 \cdot 1673 + 598,22 \cdot 12 \cdot 0,62 = 13910 \text{ Kč}\end{aligned}$$

N_{EO} [Kč] Ostatní měsíční poplatky za elektřinu (stálá platba, jistič, činnost OTE)

k_{EO} [-] Koeficient poměru využití elektrické energie na čerpadlo a ostatní služby (objasněný v kapitole 5.2.3)

5.2.3 Porovnání naměřených dat s teoretickým výpočtem

Abychom byli schopni porovnat reálná data s teoretickými hodnotami, bylo nutné uvažovat také ostatní měsíční poplatky za elektřinu a dále zavést konstantu, která bude vyjadřovat poměr využití elektrické energie na čerpadlo a ostatní služby. Konstantu bylo nutné zavést, protože máme k dispozici pouze data, která obsahují cenu za elektrickou energii jako celek, ve kterém jsou započteny ostatní poplatky za elektřinu. Jsme schopni určit, že 62 % elektrické energie odebralo čerpadlo a 38 % ostatní služby, tudíž hodnota konstanty bude 0,62.

Teoretická hodnota vyšla 13910 Kč a reálná (naměřená z dat) 14320 Kč. Výsledky jsou tak celkem příznivé a můžeme říct, že víceméně odpovídají. Rozdíl hodnot je ovlivněn především teoretickými hodnotami, které nemusí být úplně přesné. Počínaje hrubým propočtem tepelných ztrát, který pak ovlivňuje hodnotu roční spotřeby energie a dále uvažujeme předpoklad průměrného topného faktoru.

5.3 Alternativy vytápění pro modelový dům

Pro srovnání s alternativními metodami budeme využívat teoretický výpočet bez ostatních poplatků za elektřinu, protože budeme uvažovat předpoklad, že elektřina by byla využívána v každém případě a tím pádem měsíční poplatky za elektřinu nebudeme považovat za součást vytápěcích nákladů. Nutné je však podotknout, že pořízení tepelného čerpadla nám umožňuje výhodnější tarif a máme tak levnější elektřinu.

Vzhledem k tomu, že stávající systém patří mezi ty progresivnější, komfortní, je cenově výhodný a funguje už nějakou dobu, není důvod ho nahrazovat, protože dnes můžeme využití tepelného čerpadla považovat za nejlevnější variantu, pokud neuvažujeme investice za pořízení. Budeme tak uvažovat variantu, že se uživatel rozhodl pokračovat ve vytápění plynem, avšak starý kotel byl nevyhovující a pořídil si kotel kondenzační. Druhou variantou bude vytápění palivovým dřevem, což sice není

nejkomfortnější varianta, ale stále jedna z nejlevnějších na trhu. Následně zhodnotíme, jak by si hospodářsky výše zmíněné varianty vedly s porovnáním s aktuálním tepelným čerpadlem.

5.3.1 Možnost vytápění plynem

Pro pokračování vytápění plynem budeme potřebovat pouze pořídit nový kondenzační kotel. V roce 2011 už byli vhodné kondenzační kotle na trhu a jejich cena se pohybovala kolem 50 000 Kč. Z toho taky budeme vycházet, a protože vše ostatní už je v domě zařízené, bude to naše jediná investice. Odebírat budeme nadále plyn od společnosti ČEZ [68].

Nyní potřebujeme zkalkulovat cenu plynu během uplynulých 9 let a vypočítat tak roční spotřebu. Budeme uvažovat stejnou roční spotřebu na vytápění (22,05 MWh/rok), což nám po převedení odpovídá 79,4 GJ tepla. Účinnost kondenzačního kotle za ideálních podmínek je lehce nad 100 %, takže budeme uvažovat právě takovou hodnotu. Výhřevnost zemního plynu se pohybuje kolem 33,5 MJ/m³. Cena zemního plynu se během roku 2011–2020 pro naše potřeby vytápění příliš nezměnila a pohybovala se kolem 1100–1300 Kč za 1MWh. Budeme tak uvažovat střední hodnotu, ke které ještě musíme přičíst poplatky za stálou platbu. Poplatky zaujímají přibližně 250 Kč měsíčně. Máme tak všechny potřebné hodnoty, abychom vypočítali roční spotřebu při vytápění [69] [70].

$$V_{ZP} = \frac{E}{\eta_{KK} \cdot H_{ZP}} [m^3]$$
$$V_{ZP} = \frac{79,4 \cdot 10^3}{1,02 \cdot 33,5} = 2323,68 m^3$$

| | |
|-------------------------------|---|
| V_{ZP} [m ³] | Roční spotřeba zemního plynu |
| E [MJ] | Energie potřebná k vytápění a ohřevu vody |
| η_{KK} [-] | Účinnost kondenzačního kotle |
| H_{ZP} [MJ/m ³] | Výhřevnost zemního plynu |

Cena plynu se udává v kWh, proto potřebujeme převést m³ na kWh, přičemž platí, že 1 m³ = 10,55 kWh = 0,01055 MWh.

$$P_{ZP} = V_{ZP} \cdot 0,01055 = 2323,68 \cdot 0,01055 = 24,515 \text{ MWh}$$

$$N_{ZP} = P_{ZP} \cdot N_{CP} + N_{PO} \cdot 12 \text{ [Kč]}$$

$$N_{ZP} = 24,515 \cdot 1200 + 250 \cdot 12 = 32418 \text{ Kč}$$

| | |
|----------------------------|--|
| N_{ZP} [Kč] | Roční náklady na vytápění zemním plynem |
| V_{ZP} [m ³] | Roční spotřeba zemního plynu |
| P_{ZP} [MWh] | Roční spotřeba paliva na vytápění včetně ohřevu vody |
| N_{CP} [Kč] | Cena zemního plynu za 1 MWh |
| N_{PO} [Kč] | Ostatní poplatky za plyn (stálá platba) |

Roční náklady bez uvažování investic a údržby tak dosahují přes 32 000 Kč, což je přibližně 3x více než při vytápění tepelným čerpadlem. Pro srovnání tak budeme muset vypočítat ještě návratnost, kde zakomponujeme i investiční náklady.

$$R_{TČ-ZP} = \frac{N_{I_{TČ}} - N_{I_{ZP}}}{N_{ZP} - N_{TČ}} \text{ [let]}$$

$$R_{TČ-ZP} = \frac{296800 - 50000}{32418 - 9549} = 10,8 \text{ let}$$

| | |
|-------------------|--|
| $R_{TČ-ZP}$ [let] | Návratnost tepelného čerpadlo / zemní plyn |
| $N_{I_{TČ}}$ [Kč] | Investiční náklady tepelného čerpadla |
| $N_{I_{KK}}$ [Kč] | Investiční náklady kondenzačního kotle |
| N_{ZP} [Kč] | Roční náklady na vytápění zemním plynem |
| $N_{TČ}$ [Kč] | Roční náklady na vytápění tepelným čerpadlem |

5.3.2 Možnost vytápění kusovým dřevem

Jako druhou alternativu zvolíme vytápění kusovým dřevem a budeme tak muset pořídit vhodný kotel na kusové dřevo. V době pořizování už byly zpopularizované automatické kotle, a protože uvažujeme s investicí do budoucna a chceme zachovat určitou míru komfortu, je to pro nás jasná volba. Na trhu už se objevovaly kotle 4. a 5. emisní třídy, takže se za pár let nemusíme zabývat výměnou kotle. Cena takových automatických kotlů začíná na 65 000 Kč, budeme však uvažovat nějaký běžnější kotel a započítáme ostatní výdaje za jeho instalaci, protože kotel je výrazně prostornější a bude se muset přizpůsobit místnost, ve které se kotel bude nacházet. Naše investiční cena tak bude 80 000 Kč [71].

Pro vytápění budeme potřebovat kusové dřevo, které je potřeba prvně řádně uskladnit, aby dostatečně vyschlo a mělo co nejnížší vlhkost. Takové dřevo pak bude mít výhřevnost přibližně 15 MJ/kg. Do výpočtu tak kromě výhřevnosti zahrneme energii potřebnou na vytápění a účinnost automatického kotle. Získáme množství dřeva, které budeme potřebovat na roční provoz, a pak už ho jen vynásobíme cenou dřeva.

$$M_D = \frac{E}{H_D \cdot \eta_D} \quad [kg]$$
$$M_D = \frac{74,9 \cdot 10^3}{15 \cdot 0,85} = 5875 \text{ kg}$$

| | | |
|----------|---------|---|
| M_D | [kg] | Množství dřeva na roční vytápění |
| E | [MJ] | Energie potřebná na vytápění a ohřev vody |
| H_D | [MJ/kg] | Výhřevnost dřeva |
| η_D | [-] | Účinnost automatického kotle na dřevo |

Obdobně jako u plynu musíme pro výpočet ceny převést jednotky. Dřevo se prodává nejčastěji v prostorových metrech rovnaných (prmr) či sypaných (prms), proto naše množství podělíme hustotou dřeva a dostaneme m³, přičemž 1 m³ je přibližně 1,55 prms. Uvažujeme dřevo vysušené a jeho hodnota je tak 600 kg/m³. Poslední potřebná hodnota je právě cena dřeva, která v průběhu posledních 10 let hodně kolísala, a proto volíme přibližnou střední hodnotu 1200 Kč, do které zahrneme i např. dovoz dřeva, investice na uskladnění apod. [72].

$$V_D = \frac{M_D}{\rho_D} = \frac{5875}{600} = 9,79 \text{ m}^3$$

$$N_D = V_D \cdot N_{CD} \cdot 1,55 \text{ [Kč]}$$

$$N_D = 9,79 \cdot 1200 \cdot 1,55 = 18209 \text{ Kč}$$

| | | |
|----------|----------------------|---|
| V_D | [m ³] | Objemové množství dřeva na roční vytápění |
| M_D | [kg] | Množství dřeva na roční vytápění |
| ρ_D | [kg/m ³] | Hustota dřeva |
| N_D | [Kč] | Roční náklady za vytápění dřevem |
| N_{CD} | [Kč] | Cena dřeva |

Vytápění dřevem vychází přibližně 2x dražší než při využití tepelného čerpadla, chybí nám to pouze znova porovnat i s investičními náklady.

$$R_{T\check{C}-D} = \frac{N_{I_{T\check{C}}} - N_{I_{AK}}}{N_D - N_{T\check{C}}} \text{ [let]}$$

$$R_{T\check{C}-D} = \frac{296800 - 80000}{18209 - 9549} = 25 \text{ let}$$

| | | |
|----------------------|-------|--|
| $R_{T\check{C}-D}$ | [let] | Návratnost tepelného čerpadlo / dřevo |
| $N_{I_{T\check{C}}}$ | [Kč] | Investiční náklady tepelného čerpadla |
| $N_{I_{AK}}$ | [Kč] | Investiční náklady automatického kotle |
| N_D | [Kč] | Roční náklady na vytápění kusovým dřevem |
| $N_{T\check{C}}$ | [Kč] | Roční náklady na vytápění tepelným čerpadlem |

5.4. Srovnání alternativních možností s aktuálním vytápěním

Z výpočtů jsme zjistili, že jednoznačně tepelné čerpadlo nemá konkurenci, co se týče ročních nákladů, avšak jeho vysoké pořizovací investice už jsou diskutabilní. Tepelné čerpadlo bývá většinou pořizováno jako dlouholetá investice, od kterého se určitě v brzké době nebude opouštět. Proto můžeme říct, že ač za něj utratíme spoustu peněz, jednou se nám to vrátí. Vytápění dřevem je tak hezký příklad toho, že pokud neuvažujeme dlouhodobé investování, tak nás vyjde po dlouhou dobu jako lepší investice. Plyn je pro nás něco jako střední cesta, kdy uživatel platí sice větší náklady, ale kdybychom ho porovnali s ostatními variantami vytápění, zjistíme že právě plyn je na tom velice obdobně. Vytápění plynem tak z našeho modelu vypadá draze, ale nutno podotknout, že bylo srovnáváno s nejlevnějšími možnými variantami.

Každopádně musíme se dívat i na hledisko komfortu, které nám naopak řadí dřevo jako nejnevhodnější variantu. Kusové dřevo se musí někde skladovat a pokud nekoupíme už přímo dřevo vysušené (které samozřejmě stojí o něco více), tak ho ještě musíme nechat minimálně 1–2 roky nechat vyschnout. Nehledě na to, že pokud nekoupíme dřevo daných rozměrů (což taky není vždy samozřejmost), tak ho musíme zkrátit a přizpůsobit, aby se vlezlo do kotle. Sice bychom pořídili automatický kotel, který si bere palivo sám dle potřeby, ale do zásobníku se to dřevo musí donést. Tady naopak vyhrávají čerpadlo s plynem, kde komfort je na prvním místě a veškerý topný systém je regulován dle potřeb uživatele.

Jedno z posledních hledisek, na kterém bychom mohli modelové příklady porovnat, je šetrnost z životnímu prostředí. Vytápění tepelným čerpadlem můžeme považovat za velice ekologické, zemním plynem o něco méně, avšak vytápění dřevem za předchozími variantami lehce zaostává. Můžeme tvrdit, že dnešní kotle 4. a 5. emisní třídy už splňují vysoké limity, ale musíme brát v potaz, že vytápíme kusovým dřevem, které se může složením lišit. Většina kotlů tak na tohle není přizpůsobena. Navíc v našem případě uvažujeme, že jsme si kotel pořídili cca před 10 lety.

6 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo seznámit sebe a čtenáře s řešenou problematikou. Při psaní jsem se obohatil znalostmi o fungování jednotlivých metod, jejich vhodnosti a na modelovém příkladě jsem si zkusil prakticky porovnat řešený problém. Po shrnutí veškerých informací nelze jednoznačně říct, která varianta je nejlepší. Každá má svá pozitiva, ale i svá úskalí, proto jsou důležité převážně preference a požadavky uživatele. Nutné však podotknout, že se zabývám aktuální problematikou a za pár let už může být situace odlišná a nemusí být veškeré informace reálné. To se týká především finančních nákladů, uvedení do platnosti nových vyhlášek spojených s vytápěním, či nová technologie, která přispěje k výrazné popularitě určité metody vytápění.

Po krátkém uvedení do problematiky, kde jsem vyzdvihl několik vnějších parametrů souvisejících s vytápěním, jsem podstatnou část práce věnoval právě metodám vytápění, které teď v pár větách shrnu.

Nejprve jsme se zabývali tuhými palivy, která jsou stále jedny z nejpoužívanějších a nejlevnějších. Ty nám nabízejí nízké investiční i provozní náklady, ale z hlediska komfortu nejsou úplně ideální kvůli skladovatelnosti a častému přikládání, pokud nemáme dostatečně velký zásobník. S tuhými palivy je často skloňována jejich nešetrnost k životnímu prostředí, avšak dneska už jsou vyráběny kotle, které už jsou v rámci možností ekologické. Vyšly tak určité vyhlášky, které zakazují nevhodné kotle používat a mnoho domácností bude muset své kotle vyměnit. Další hojně využívaný je plyn. Co se týče nákladů, je lehce dražší než tuhá paliva, avšak jedná se o komfortnější a ekologičtější variantu. Většinou využíváme zemní plyn z přípojky, avšak pokud není dostupná, tak je nutné použít plyn zkapalněný a nainstalovat nádrž, což nemusí být zrovna nejlevnější investice. Asi nejkomfortnější a nejekologičtější variantou se zdá být vytápění elektřinou. Kámen úrazu je však vysoká finanční náročnost, především pokud dům nemá žádný výhodnější tarif na elektřinu. V souvislosti s využitím elektřiny jsou tepelná čerpadla. Za ideálních podmínek a neuvažování počátečních investic je to bezpochyby nejlevnější a nejkomfortnější varianta, ale i ta má svá úskalí. Při pořizování čerpadla je hlavní faktor pořizovací investice, z čímž je pak spjatá návratnost. Musíme si tak uvědomit, že tepelné čerpadlo vytápí levněji i větší pozemky s vyššími tepelnými ztrátami, zatímco u jiných forem vytápění by se to prodražilo. Vzniká tak velký rozdíl mezi výdaji a projeví se nám výrazně nižší návratnost a vhodnost investice. Naopak u nízkoenergetických domů není tak razantní cenový rozdíl mezi vytápěním čerpadlem a jinými metodami. Návratnost investice je tak vysoká, a proto vhodnost čerpadla není příliš vyhovující. Jako poslední metoda je využití solární energie, přičemž v současné době ji můžeme využít pouze jako doplňkový zdroj. V současnosti stále nejsme schopni nashromáždit tolik solární energie, aby to vystačilo právě v obdobích, kdy je třeba topit nejvíce.

V poslední části bakalářské práce jsme se věnovali modelovému domu, kde byla porovnána aktuální metoda vytápění s dvěma alternativními. Současně je modelový dům vytápěn pomocí tepelného čerpadla země-voda a pro srovnání jsem zvolil vytápění plynem a vytápění kusovým dřevem. Byl uvažován případ, že by se

uživatel rozhodl místo tepelného čerpadla využít alternativní varianty a porovnal tak jejich nákladové a komfortní hlediska. S přehledem můžeme říct, že nejlevnější a nejkomfortnější varianta je právě tepelné čerpadlo. Vytápění kusovým dřevem je přibližně 2x dražší a plynem přibližně 3x. To nám však příliš nevypovídá o investičních nákladech, proto bylo nutné je zahrnout a vypočítat tak návratnost investice. Ve srovnání s plynem je určitě z dlouhodobého hlediska tepelné čerpadlo výhodnou investicí a za necelých 11 let se vyrovná investičním nákladům. I když můžeme o dřevu říct, že vyšlo 2x dražší než samotné tepelné čerpadlo, stále je to velice nízká hodnota. Proto v případě uvažování vytápění dřevem by byla návratnost investice 25 let. Nesmíme však zapomínat na komfort uživatele a kusové dřevo mezi komfortnější určitě nepatří. Je nutné mít větší skladovací prostory a pokud nemáme automatický kotel a velký zásobník, musí se přikládat několikrát denně. Dále musíme uvažovat také fyzické práce s dřevem při jeho skladování a manipulování. Z mého je pohledu je komfort dnes velice žádaný a důležitý, proto za cenu větších investičních nákladů je investice do tepelného čerpadla vhodná, a pro daný modelový dům se aktuálně vyplatí nejvíce.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Klimatické podmínky v ČR. *Počasí meteoaktuality* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/klimatologie/klima-v-cr/>
- [2] Topná sezóna. *Teplospol* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.teplospol.cz/cs/otazky-a-odpovedi/otazky-a-odpovedi/kdy-zacina-a-konci-topna-sezona.html>
- [3] Emise. *Portál ČHMU* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/II_ovzd_CZ.htm
- [4] Přehled povinností souvisejících s prodejem a provozem kotlů na tuhá paliva. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12909-co-musi-splnit-novy-kotel-na-tuha-paliva-po-roce-2020>
- [5] Znečištění ovzduší v ČR. *dTest* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-7414/zastarale-kotle-a-znecisteni-ovzduasi-v-cr>
- [6] Tuhá paliva. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy>
- [7] Kotle pro tuhá paliva. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- [8] Uhlí. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%AD>
- [9] Vznik uhlí. *OKD* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/jak-uhli-vzniklo>
- [10] Typy uhlí. *OKD* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/typy-uhli>
- [11] Koks. *Koksovny* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>
- [12] Kusové dřevo. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapani-biomasou-od-a-az-do-z>
- [13] Kotle na kusové dřevo. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9766-topeni-pohledem-ekonomatopime-drevem-iii-dil>
- [14] Dřevní pelety. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapani-biomasou-od-a-az-do-z>
- [15] Kotle na pelety. *Česká peleta* [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.ceska-peleta.cz/tiskove-zpravy/vse-o-vytapani-drevnimi-peletami-a-proc-si-s-nimi-zacit/>

- [16] Agropelety. *Zempol* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.zempol.cz/index.php/agropelety>
- [17] LISÝ, M.; JECHA, D.; LISÁ, H. Spalování agropelet v lokálním topeništi. In *Vykurovanie* 2019. 1917. Bratislava: SSTP Bratislava, 2019. s. 307-310. ISBN: 978-80-89878-42-0.
- [18] Brikety. *Brikety* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.brikety.eu/jak-topit-briketami>
- [19] Dřevní štěrka. *Biom* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [20] Ostatní biomasy. *Enviweb* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/103210>
- [21] Vytápění plynem. *Dům kotlů* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://dumkotlu.cz/jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-plynoveho-vytapeni/>
- [22] Zemní plyn. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zemn%C3%AD_plyn
- [23] Zkapalněné plyny. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem>
- [24] Plynové zásobníky. *Tomegas* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.tomegas.cz/plynove-zasobniky-na-propan/>
- [25] Kotle na vytápění plynem. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/18146-plynove-kotle-musi-nove-splnovat-prisnejsi-normy>
- [26] Atmosferický a kondenzační kotel. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uspornejši-a-ekologictejsi-cast-1>
- [27] Wawky. *Peníze* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.penize.cz/nakupy/290240-topime-plynem-vyhody-a-nevyhody-ruznych-zpusobu-plynoveho-vytapeni>
- [28] Kondenzační kotel. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uspornejši-a-ekologictejsi-cast-1>
- [29] Fungování kondenzačního kotle. *Viessmann* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [30] Vytápění elektřinou. *Kurzy* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/zpravy/507132-ve-2-ctvrtleti-2019-rostla-spotreba-elektriny-i-plynu/>

- [31] Varianty elektrického vytápění. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/10833-varianty-elektrickeho-vytapani-rozdeleni-podle-zdroje-tepla>
- [32] Elektrokotel. *Thermona* [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/aktuality/kdy-se-vyplati-elektrokotel-pro-domacnost>
- [33] Podlahové vytápění. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
- [34] Stěnové vytápění. *Czech wolf* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://czech.wolf.eu/portalprofi/katalog-vyrobk/gabothermr-podlahove-vytapani/stenove-vytapani/>
- [35] Stropní vytápění. *Multibeton* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <http://www.multibeton.cz/reference/cr/bazenova-hala>
- [36] Infrapanely. *Infratopení* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.infratopeni.info/nastenne-infrapanely>
- [37] Infrazářič. *Elektro-topení* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <http://www.elektro-topeni.cz/venkovni-topidla/nastenny-infrazaric-radialight-oasi/>
- [38] Druhy přímotopných systémů. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/16920-vytapani-elektrinou-neni-ekonomicky-nesmysl>
- [39] Akumulační kamna. *E-dimplex* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.e-dimplex.cz/akumulacni-kamna-dimplex/143-vtdi-75chti-7560-akumulacni-kamna-dimplex-6000-w-dynamicka-trifazova-hluboka-s-elektronickou-regulaci-4015627346239.html>
- [40] Historie tepelných čerpadel. *Dřevo a stavby* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/technicka-zarizeni/3557-strucna-historie-tepelnych-čerpadel-technologie-vznikla-v-cesku>
- [41] Úvod k tepelnému čerpadlu. *Nazeleno* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/kdy-se-vyplati-tepelne-čerpadlo.aspx>
- [42] Princip tepelného čerpadla. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/princip-tepelneho-čerpadla>
- [43] Princip tepelného čerpadla 2. *Zdravé byvanie* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.zdrave-byvanie.com/ako-funguje-tepelne-čerpadlo-oplati-sa/>
- [44] Topný faktor. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-čerpadla>
- [45] Sezónní topný faktor. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/topny-faktor-scop>

- [46] Tepelné čerpadlo země-voda. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [47] Vertikální konektor. *Nazeleno* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/tepelna-cerpadla/tepelne-cerpadlo-zeme-voda-vyplati-se.aspx>
- [48] Vertikální a horizontální konektor. *Stavebnictví rodinné domy* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://stavebnictvi-rodinne-domy.weos.cz/typy-tepelnych-cerpadel.html>
- [49] Tepelné čerpadlo voda-voda. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda>
- [50] Tepelné čerpadlo voda-voda 2. *Teplototechnika* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <http://teplototechnika.cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda>
- [51] Tepelné čerpadlo vzduch-voda. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>
- [52] Tepelné čerpadlo vzduch-voda 2. *Čerpadla ivt* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [53] Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-vzduch>
- [54] Vhodnost tepelného čerpadla vzduch-vzduch. *Čerpadla IVT* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [55] Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch 2. *M-klima* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch/>
- [56] Absorpční tepelné čerpadlo. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/14067-uspورا-nakladu-na-vytapani-s-plynovym-tepelnym-cerpadlem>
- [57] DANIEL, M. *Absorpční tepelná čerpadla a jejich využití v průmyslu*. Praha, 2015 [cit. 2020-06-11]. Dostupné také z https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63456/F2-BP-2015-Daniel-Marek-BP_daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky
- [58] Solární vytápění. *Topení-topenáři* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapani.php>
- [59] Ideální podmínky pro solární vytápění. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/142-solarni-vytapani>

- [60] Hodnoty slunečního svitu v ČR. *Meteo-jirkalina* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://meteo-jirkalina.com/wx38.php>
- [61] Kapalinové solární panely. *Dobry instalatér* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <http://www.dobry-instalater.cz/akce>
- [62] Teplovzdušné solární panely. *Publi* [online]. [cit. 2020-02-23]. <https://publi.cz/books/91/11.html>
- [63] Akumulace. *ČEZ* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/akumulat_1.html
- [64] Kombinace tepelných zdrojů. *Dřevo a stavby* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.drevoastavby.cz/images/stories/Casopis_vydani/2015_5/Ze%20zku%C5%A1enost%C3%AD%20odborn%C3%ADk%C5%AF_V4_pIn%C3%A1_verze.pdf
- [65] Hybridní zařízení. *Viessmann* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/hybridni-zarizeni/plynova-hybridni-zarizeni/vitocal-250s.html>
- [66] Tepelné čerpadlo Greenline He. *Clima bohemia* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.climaboheemia.cz/produkt/tepelne-cerpadlo-ivt-greenline-he/>
- [67] Ceník elektřiny. *ČEZ* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html?commodity=ele>
- [68] Úsporný kondenzační kotel. *Novinky* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/bydleni/tipy-a-trendy/clanek/jak-vybrat-nejuspornejsi-plynovy-kotel-43652>
- [69] Ceník zemního plynu. *ČEZ* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html?commodity=gas>
- [70] Výhřevnost paliv. *Tzb info* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [71] Kotel na tuhá paliva. *Nazeleno* [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/vytapani/jak-vybrat-kotel-na-tuha-paliva.aspx>
- [72] Prodej dřeva. *Dřevorubec* [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <http://drevorubec.cz/prodej-dreva/objemova-hmotnost-dreva>

Seznam použitých symbolů a zkratk

| Značka | Název | Jednotka |
|----------------------|---|------------------|
| H | Výhřevnost | MJ/kg |
| P | Výkon | kW |
| ε | Topný faktor | - |
| Q_H | Energie pracovní látky vytvořená okolím | J |
| Q_C | Energie spotřebovaná kompresorem | J |
| Q_P | Průtok | l/s |
| $P_{T\check{C}}$ | Roční spotřeba energie na vytápění | MWh |
| Q | Energie potřebná k vytápění | MWh |
| $N_{T\check{C}}$ | Roční náklady na provoz tepelného čerpadla | $K\check{C}$ |
| N_E | Cena elektrické energie včetně daně a systémových služeb | $K\check{C}/MWh$ |
| N_{EO} | Ostatní měsíční poplatky za elektřinu | $K\check{C}$ |
| k_{EO} | Koeficient poměru využití elektrické energie na čerpadlo a ostatní služby | - |
| V_{ZP} | Roční spotřeba zemního plynu | m^3 |
| E | Energie potřebná k vytápění | MJ |
| η_{KK} | Účinnost kondenzačního kotle | - |
| H_{ZP} | Výhřevnost zemního plynu | MJ/m^3 |
| N_{ZP} | Roční náklady na vytápění zemním plynem | $K\check{C}$ |
| P_{ZP} | Roční spotřeba paliva na vytápění | MWh |
| N_{CP} | Cena zemního plynu za 1 MWh | $K\check{C}$ |
| N_{PO} | Ostatní poplatky za plyn | $K\check{C}$ |
| $R_{T\check{C}-ZP}$ | Návratnost tepelné čerpadlo / zemní plyn | <i>roky</i> |
| $N_{I_{T\check{C}}}$ | Investiční náklady tepelného čerpadla | $K\check{C}$ |
| $N_{I_{KK}}$ | Investiční náklady kondenzačního kotle | $K\check{C}$ |
| M_D | Množství dřeva na roční vytápění | kg |
| H_D | Výhřevnost dřeva | MJ/kg |
| η_D | Účinnost automatického kotle na dřevo | - |

| | | |
|------------|---|----------|
| V_D | Objemové Množství dřeva na roční vytápění | m^3 |
| ρ_D | Hustota dřeva | kg/m^3 |
| N_D | Roční náklady za vytápění dřevem | Kč |
| N_{CD} | Cena dřeva | Kč |
| $R_{TČ-D}$ | Návratnost tepelné čerpadlo / dřevo | roky |
| N_{IAK} | Investiční náklady automatického kotle | Kč |

Seznam obrázků

Obrázek 3.1 Tuhá paliva [6]

Obrázek 3.1.1 (1) Prohořivací kotel [7]

Obrázek 3.1.1 (2) Odhořivací kotel [7]

Obrázek 3.1.1 (3) Zplyňovací kotel [7]

Obrázek 3.1.1 (4) Automatický kotel [7]

Obrázek 3.2.2 Zásobník na plyn [24]

Obrázek 3.2.3 (1) Srovnání atmosférického a kondenzačního kotle [26]

Obrázek 3.2.3 (2) Princip kondenzace v kondenzačním kotli [28]

Obrázek 3.3 Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny v 2. čtvrtletí 2019 [30]

Obrázek 3.3.1 (1) Podlahové vytápění teplovodní [33]

Obrázek 3.3.1 (2) Podlahové vytápění elektrické [33]

Obrázek 3.3.1 (3) Stěnové vytápění [34]

Obrázek 3.3.1 (4) Stropní vytápění [35]

Obrázek 3.3.1 (5) Infrapanely [36]

Obrázek 3.3.1 (6) Infrazářič [37]

Obrázek 3.3.2 Akumulační zdroj [39]

Obrázek 3.4.1 Princip tepelného čerpadla [43]

Obrázek 3.4.4 Tepelné čerpadlo země-voda [48]

Obrázek 3.4.5 Tepelné čerpadlo voda-voda [50]

Obrázek 3.4.6 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [52]

Obrázek 3.4.7 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch [55]

Obrázek 3.5.2 Kapalinové solární panely [61]

Obrázek 3.5.3 Teplovzdušné solární panely [62]

Obrázek 3.6.3 Hybridní zařízení [65]

Obrázek 5.1 Modelový dům

Obrázek 5.2 Tepelné čerpadlo Greenline He [66]

Seznam tabulek

Tabulka 2.3 Přehled povinností souvisejících s prodejem a provozem kotlů na tuhá paliva [4]

Tabulka 3.1.2 Obsah uhlíku a výhřevnost jednotlivých typů uhlí [10]

Tabulka 3.5.1 Přehled délky slunečního svitu za dané období v hodinách [59]

Tabulka 4.0 Srovnání jednotlivých typů vytápění

Tabulka 4.1 Vysvětlení hodnot z tabulky 4.0